



Escola Universitària d'Enginyeria  
Tècnica Industrial de Barcelona  
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

## **Volumen I**

Memoria – Presupuesto- Anexos

TRABAJO DE FINAL DE GRADO



Barcelona, 26 de Abril de 2016

Tutor proyecto: Rubén Arroyo González  
Departamento de Ingeniería Mecánica (EM)  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

# ÍNDICE MEMORIA

Índice memoria .....	1
Resumen .....	5
Resum.....	5
Abstract .....	6
Agradecimientos.....	7
<b>Capítulo 1: Introducción .....</b>	<b>9</b>
1.1. Motivación .....	10
1.2. Objetivo principal.....	10
1.3. Objetivos específicos .....	10
1.4. Alcance.....	10
<b>Capítulo 2: Introducción a la teoría aerodinámica .....</b>	<b>13</b>
2.1. Teoría aerodinámica.....	14
2.1.1. Principios básicos.....	14
2.1.2. Factores a tener en cuenta en el estudio aerodinámico .....	15
2.1.3. Coeficientes que debemos tener en cuenta en el estudio aerodinámico .....	18
2.2. Partes aerodinámicas del vehículo.....	18
2.2.1 El Splitter .....	18
2.2.2 El Difusor .....	20
2.2.3 Los Alerones .....	20
2.2.4. Fondo plano .....	23
2.3. Maneras de estudiar la aerodinámica de un vehículo .....	24
2.3.1. Tunel de viento .....	24
2.3.2. CFD (Computational Fluid Dynamics) .....	27
<b>Capítulo 3: Fases del proyecto.....</b>	<b>28</b>
3.1. Selección del vehículo .....	29
3.2. Estudio y cálculos del modelo seleccionado .....	30
3.2.1 Área frontal .....	30
3.2.2. Coeficiente de arrastre .....	30
3.2.3. Coeficiente antisustentación.....	34
3.3. Comentarios y comparativa del flujo a diferentes velocidades.....	36

3.4. Pasos a seguir para la mejora aerodinámica.....	42
3.4.1. Parte delantera .....	42
3.4.2. Bajos del vehículo.....	42
3.4.3. Zona lateral .....	43
3.4.4. Parte posterior .....	43
3.4.5. Entradas de refrigeración.....	43
3.4.6. Reducción de la altura del vehículo .....	43
3.5. Normativa aplicable para la mejora aerodinámica del vehículo.....	44
3.6. Posibles cambios para mejorar la aerodinámica .....	48
3.6.1. Altura del vehículo .....	48
3.6.2. Suelo plano.....	50
3.6.3. Parachoques delantero .....	51
3.6.4. Ruedas.....	52
3.6.5. Faldones laterales.....	53
3.6.6. Parachoques trasero .....	54
3.6.7. Alerón trasero .....	54
3.7. Comparativa del antes y el después de la mejora aerodinámica.....	59
3.8. Elección de los materiales .....	61
3.8.1. Material piezas .....	61
3.8.2. Material moldes.....	64
3.8.3. Material estructura metálica.....	65
3.9. Diseño de las piezas.....	66
3.9.1. Parachoques delantero .....	66
3.9.2. Guardabarros delantero.....	71
3.9.3. Faldón lateral .....	75
3.9.4. Guardabarros trasero .....	78
3.9.5. Parachoques trasero .....	82
3.9.6. Alerón .....	86
3.9.7. Fondo plano.....	89
3.9.8. Estructura metálica para la fijación de elementos .....	91
3.9.9. Difusor .....	92
3.10. Diseño de los moldes.....	95
3.10.1. Enumeración de los moldes diseñados .....	95
<b>Capítulo 4: Presupuestos.....</b>	<b>97</b>
4.1. Presupuesto moldes.....	98
4.2. Presupuesto piezas .....	99

4.3. Presupuesto costes de ingeniería .....	100
4.4. Estudio económico .....	101
<b>Capítulo 5: Conclusiones .....</b>	<b>102</b>
<b>Capítulo 6: Bibliografía .....</b>	<b>105</b>



Escola Universitària d'Enginyeria  
Tècnica Industrial de Barcelona  
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

## Memoria

### TRABAJO DE FINAL DE GRADO



Barcelona, 26 de Abril de 2016

Tutor proyecto: Rubén Arroyo González  
Departamento de Ingeniería Mecánica (EM)  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

# ÍNDICE MEMORIA

Índice memoria .....	1
Resumen .....	5
Resum.....	5
Abstract .....	6
Agradecimientos .....	7
<b>Capítulo 1: Introducción .....</b>	<b>9</b>
1.1. Motivación .....	10
1.2. Objetivo principal.....	10
1.3. Objetivos específicos .....	10
1.4. Alcance.....	10
<b>Capítulo 2: Introducción a la teoría aerodinámica .....</b>	<b>13</b>
2.1. Teoría aerodinámica.....	14
2.1.1. Principios básicos.....	14
2.1.2. Factores a tener en cuenta en el estudio aerodinámico .....	15
2.1.3. Coeficientes que debemos tener en cuenta en el estudio aerodinámico .....	18
2.2. Partes aerodinámicas del vehículo.....	18
2.2.1 El Splitter .....	18
2.2.2 El Difusor .....	20
2.2.3 Los Alerones .....	20
2.2.4. Fondo plano .....	23
2.3. Maneras de estudiar la aerodinámica de un vehículo .....	24
2.3.1. Tunel de viento .....	24
2.3.2. CFD (Computational Fluid Dynamics) .....	27
<b>Capítulo 3: Fases del proyecto.....</b>	<b>28</b>
3.1. Selección del vehículo .....	29
3.2. Estudio y cálculos del modelo seleccionado .....	30
3.2.1 Área frontal .....	30
3.2.2. Coeficiente de arrastre .....	30
3.2.3. Coeficiente antisustentación.....	34
3.3. Comentarios y comparativa del flujo a diferentes velocidades.....	36

3.4. Pasos a seguir para la mejora aerodinámica .....	42
3.4.1. Parte delantera .....	42
3.4.2. Bajos del vehículo .....	42
3.4.3. Zona lateral .....	43
3.4.4. Parte posterior .....	43
3.4.5. Entradas de refrigeración .....	43
3.4.6. Reducción de la altura del vehículo .....	43
3.5. Normativa aplicable para la mejora aerodinámica del vehículo .....	44
3.6. Posibles cambios para mejorar la aerodinámica .....	48
3.6.1. Altura del vehículo .....	48
3.6.2. Suelo plano .....	50
3.6.3. Parachoques delantero .....	51
3.6.4. Ruedas .....	52
3.6.5. Faldones laterales .....	53
3.6.6. Parachoques trasero .....	54
3.6.7. Alerón trasero .....	54
3.7. Comparativa del antes y el después de la mejora aerodinámica .....	59
3.8. Elección de los materiales .....	61
3.8.1. Material piezas .....	61
3.8.2. Material moldes .....	64
3.8.3. Material estructura metálica .....	65
3.9. Diseño de las piezas .....	66
3.9.1. Parachoques delantero .....	66
3.9.2. Guardabarros delantero .....	71
3.9.3. Faldón lateral .....	75
3.9.4. Guardabarros trasero .....	78
3.9.5. Parachoques trasero .....	82
3.9.6. Alerón .....	86
3.9.7. Fondo plano .....	89
3.9.8. Estructura metálica para la fijación de elementos .....	91
3.9.9. Difusor .....	92
3.10. Diseño de los moldes .....	95
3.10.1. Enumeración de los moldes diseñados .....	95
<b>Capítulo 4: Presupuestos .....</b>	<b>97</b>
4.1. Presupuesto moldes .....	98
4.2. Presupuesto piezas .....	99

4.3. Presupuesto costes de ingeniería .....	100
4.4. Estudio económico .....	101
<b>Capítulo 5: Conclusiones .....</b>	<b>102</b>
<b>Capítulo 6: Bibliografía .....</b>	<b>105</b>





## **RESUMEN**

El objetivo principal de este proyecto es estudiar la aerodinámica de un Volkswagen Golf MK1, aportando, a través del análisis realizado y mediante cambios en la carrocería del vehículo en cuestión, una mejora aerodinámica para el automóvil seleccionado.

Al mismo tiempo, aprovechando la presentación explícita de la mejora aerodinámica de un vehículo, se quiere hacer hincapié en el hecho que los añadidos en el chasis del automóvil no son una acción únicamente estética, sino que permiten una mejora aerodinámica del vehículo, disminuyendo los coeficientes de arrastre y sustentación.

Este proyecto abarcará desde el estudio y análisis del vehículo de serie, hasta la confección de las piezas del automóvil, las cuales aportarán y harán explícitas las posibles mejoras aerodinámicas de este.

Finalmente, es necesario hacer categórico que, para llevar a cabo este proyecto se usaran diferentes Software (SolidWorks, Autodesk Inventor), a partir de los cuales se hará el análisis y el diseño de los elementos involucrados en la aerodinámica del vehículo.

## **RESUM**

L'objectiu principal d'aquest projecte és estudiar l'aerodinàmica d'un Volkswagen Golf MK1, aportant, a través de l'anàlisi realitzada i mitjançant canvis a la carrosseria del vehicle en qüestió, una millora aerodinàmica per a l'automòbil seleccionat.

Al mateix temps, aprofitant la presentació explícita de la millora aerodinàmica del vehicle, es vol fer èmfasi en el fet que els afegits en el xassís de l'automòbil no són una acció únicament estètica, sinó que permeten una millora aerodinàmica del vehicle, disminuint els coeficients d'arrossegament i sustentació.

Aquest projecte abastarà des de l'estudi i anàlisi del vehicle de sèrie, fins la fabricació de les peces de l'automòbil, les quals aportaran y faran explícites les possibles millores aerodinàmiques d'aquest.

Finalment, es necessari fer categòric que, per dur a terme aquest projecte s'utilitzaran diferents Software (SolidWorks, Autodesk Inventor), a partir dels quals es farà l'anàlisi i el disseny dels elements involucrats en l'aerodinàmica del vehicle.

## **ABSTRACT**

The aim of this project is to study the Volkswagen Golf MK1 aerodynamics giving some improvements through the analysis and changes which have been developed during the whole project.

Simultaneously and giving emphasize to the fact of adding parts are not a simple matter of aesthetics, as it is demonstrate along the project that these help to improve the car aerodynamics, minimizing the drag and lift coefficients .

This project will involve the study and different analysis of the car with the factory components until the necessary changes in order to make it possible to manufacture.

Finally, it is important to mention that during the whole project different software will be used to develop and make some analysis of the involving components, such as SolidWorks and Autodesk Inventor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Después de una larga trayectoria, compartiendo y aprendiendo nuevos conocimientos referentes al mundo de la ingeniería mecánica, ha llegado el momento de hacer explícito mi más humilde agradecimiento a todas aquellas personas que han hecho que haya llegado hasta aquí.

A Rubén Arroyo González por los consejos ofrecidos y por apoyarme a lo largo del proyecto, haciendo explícitos mis errores para seguir mejorando.

También quiero agradecer la gran ayuda de Josep Serra (Xiu), por su asesoramiento técnico durante todo el proyecto, aportándome nuevos conocimientos del mundo de la automoción.

Finalmente, agradecer a mi familia su apoyo incondicional. Han sido, juntamente con mi pareja, Carlota, el pilar fundamental en todo proceso, ofreciéndome las más bonitas vibraciones para hacer frente a las distintas dificultades que se me hayan podido presentar a lo largo de la elaboración de mi proyecto de final de carrera.



# **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

En el presente proyecto se realizará el estudio aerodinámico de un vehículo, para conocer los factores y las acciones que pueden incentivar a una mejora aerodinámica del vehículo en cuestión.

## 1.1. Motivación

La aerodinámica de los vehículos es un factor que, desafortunadamente, no siempre se ha valorado como un aspecto transcendental a tener en cuenta en el diseño de un vehículo. Por este motivo, juntamente con la ilusión y ganas de conocer más sobre la normativa, diseño y funcionamiento del mundo del motor, decidí enfocar mi proyecto de final de grado a intentar corroborar la gran transcendencia que tiene aplicar una buena aerodinámica en los vehículos.

Es una opinión recurrente, por muchos ciudadanos y ciudadanas, creer que la utilización de un material u otro para el coche es un factor únicamente estético, por ese aspecto es interesante tener la oportunidad de hacer explícito que los cambios o añadidos referentes a la carrocería de un vehículos no es una mera acción estética, sino que hay una mejora técnica detrás de estos.

## 1.2. Objetivo principal

Demostrar una mejora aerodinámica mediante cambios y/o añadidos a la carrocería del vehículo seleccionado.

## 1.3. Objetivos específicos

- Estudiar la aerodinámica del vehículo de serie.
- Buscar y analizar posibles mejoras aerodinámicas.
- Estudiar el vehículo mejorado aerodinámicamente.
- Comparar los resultados de la mejora, con los estudios previamente realizados del vehículo de serie.
- Analizar los materiales y procesos de fabricación a seguir.

## 1.4. Alcance

En este proyecto se estudiará y mostrará la mejora aerodinámica de un vehículo. Para poder realizar el estudio se ha seleccionado un Volkswagen Golf MK1. El motivo de su elección ha sido porque, anteriormente, la aerodinámica de los vehículos no era un aspecto transcendental como lo es actualmente, por lo tanto,

la mejora aerodinámica estudiada y demostrada de este vehículo antiguo ha podido ser más firme y palpable.

Para desarrollar el proyecto se han utilizado distintos programas de diseño y simulación, los cuales han permitido obtener unos valores aproximados, pero productivos.





# **CAPÍTULO 2:**

# **INTRODUCCIÓN A LA**

# **TEORÍA AERODINÁMICA**

En este capítulo se introducirá la teoría aerodinámica de los vehículos de categoría  $M_1$ , para contextualizar, teóricamente, los contenidos necesarios para poder fundamentar los distintos estudios posteriores, los cuales se realizarán con la intención de corroborar la importancia que la aerodinámica debería tener en el diseño y preparación de los vehículos.

## 2.1. Teoría aerodinámica

La aerodinámica es la parte de la mecánica de fluidos que estudia el movimiento del aire y su interacción con los objetos que se mueven. Tiene como principal objetivo el análisis del comportamiento del aire (o diferentes masas de gases) en torno a elementos u objetos que entran en movimiento.

### 2.1.1. Principios básicos

El principio más básico de la aerodinámica es el principio de Bernoulli, el cual nos dice que la velocidad a la que se mueve un fluido es inversamente proporcional a la presión que ejerce, por lo tanto la suma de la presión y la velocidad en un punto cualquiera permanece constante.

$$P + v = k$$

Pero para entender completamente la aerodinámica básica también se debe tener en cuenta:

- Efecto Venturi : A consecuencia de la ecuación de Bernoulli y se produce cuando un fluido circula por un conducto cerrado que tiene un estrechamiento, donde se produce una depresión y un aumento de la velocidad del fluido como se muestra en la figura 1

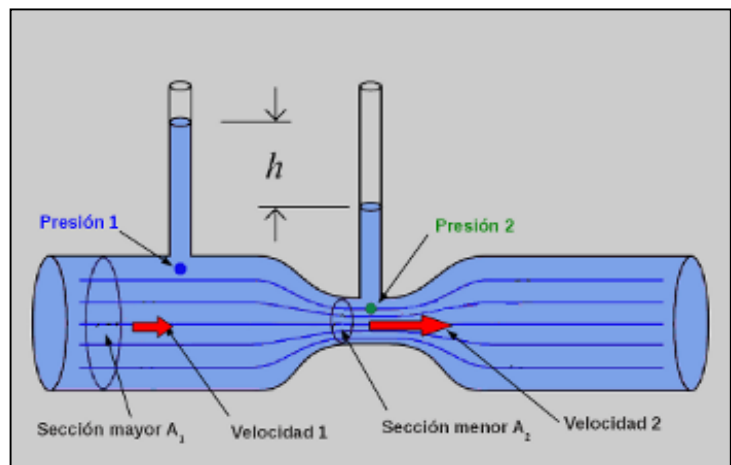


Figura 1- Efecto Venturi. Fuente: <http://www.sabelotodo.org/fluidos/efectoventuri.html>

- Tercera ley de Newton: Donde se demuestra que en una acción de fuerza tiene una reacción de igual intensidad pero sentido contrario.

$$\mathbf{F_{12}=-F_{21}}$$

### 2.1.2. Factores a tener en cuenta en el estudio aerodinámico

Para realizar el estudio aerodinámico de un vehículo se focaliza en la resistencia aerodinámica, que se experimenta cuando un cuerpo está en movimiento atravesando una masa de aire. Así que se podría decir que la resistencia aerodinámica es la fuerza que se opone al avance de un cuerpo a través del aire.

Cuando un cuerpo está en movimiento aparecen dos tipos de flujo y con ellos diversas fuerzas de resistencia que condicionaran a la aerodinámica del vehículo:

- Flujo externo: Debido al paso del aire por la superficie exterior del vehículo con lo cual origina fuerzas de resistencia al avance y fuerzas laterales, debidas al viento lateral. Son fuerzas de gran importancia en el vehículo, ya sea por prestaciones o por seguridad.
- Flujo interno: Debido al aire que pasa por el interior de la carrocería del vehículo, es decir, el aire que entra al motor por las entradas de aire. Beneficiosas para la refrigeración del motor pero a la vez muy perjudicial para la aerodinámica del vehículo.

Donde además, se debe diferenciar entre:

- Flujo laminar: Es aquel donde las partículas dentro del flujo se mueven en la misma dirección que el aire, se puede hablar de un flujo laminar cuando el número de Reynolds (Re) es menor que  $5 \cdot 10^5$ . Típico en fluidos a velocidades bajas o viscosidades altas.



Figura 2- Flujo Laminar. Fuente: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV18.html>

- Flujo turbulento: Viajan de una manera desordenada y caótica formando pequeños remolinos.

Este se produce cuando  $Re$  es mayor de  $5 \cdot 10^5$ . Típico en fluidos de velocidades altas y/o viscosidades altas.

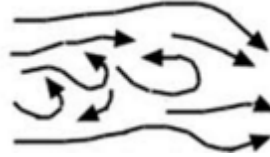


Figura 3-Flujo turbulento. Fuente: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV18.html>

Para poder distinguir y explicar las fuerzas originadas por un flujo externo de aire en la carrocería de un coche se deben ilustrar en un perfil alar:

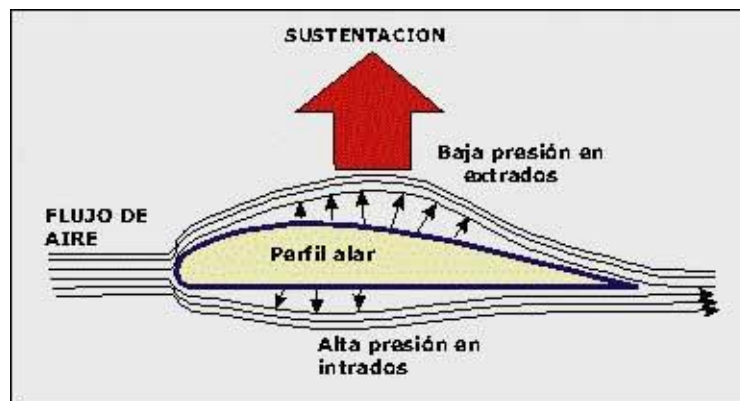


Figura 4- Perfil alar. Fuente: [http://www.apuca.com.ar/Curso\\_Pagina\\_4.htm](http://www.apuca.com.ar/Curso_Pagina_4.htm)

Cuando hay cierto movimiento las moléculas se separan de camino, unas van hacia la parte superior y otras hacia la parte inferior pero circulan a tal velocidad que se vuelen a encontrar en el final. Cuando este perfil no es simétrico provoca que las velocidades de desplazamiento de las moléculas varíen, lo que hace que, siguiendo el principio de Bernoulli, disminuya la presión en las zonas de más velocidad y aumente la presión en las zonas de velocidad más baja, provocando una zona de alta presión que produce una fuerza que tiende a elevar el ala, denominada sustentación.

Pero no solo juega un papel importante la asimetría del perfil alar, sino que también tiene mucha importancia el ángulo de ataque del ala respecto al aire,

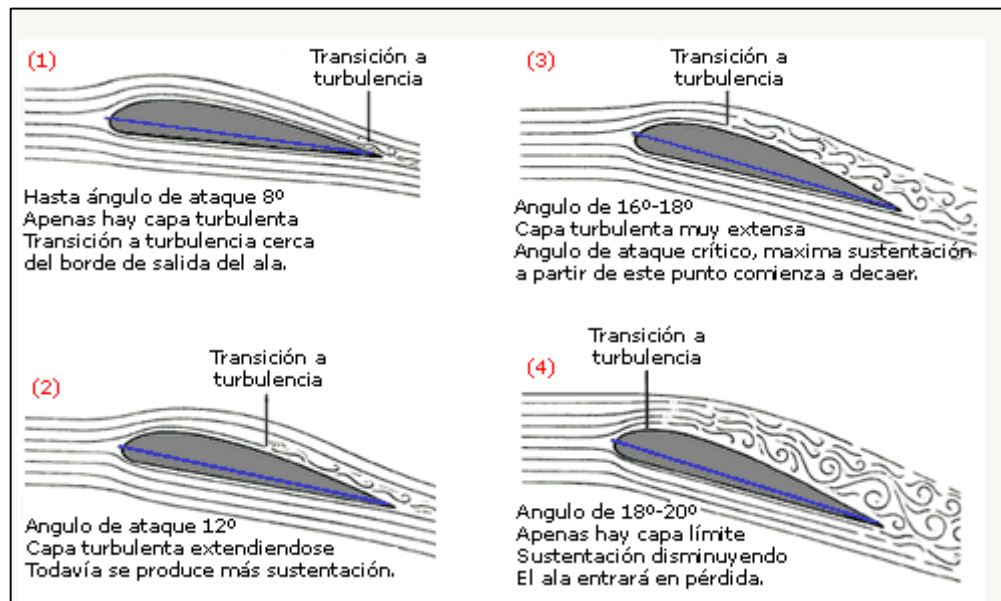


Figura 5- Transición a turbulencia. Fuente: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV18.html>

cambiando la transición a turbulencia por completo, es decir, cuando el perfil deja de ser laminar para ser turbulento.

Como se puede ver en la figura 3 ejemplo (4), el ala entrará en pérdida, que significa que la corriente de aire que pasa por extrados se despega del perfil produciendo una brusca caída en la fuerza de sustentación y esto es debido a que el cambio de perfil laminar a turbulento en extrados pasa muy cerca del punto de inicio.

Ahora viene, lo que se busca en un coche es todo lo contrario, es decir, una fuerza que empuje el coche hacia el suelo denominada *downforce*, para conseguir esto es tan fácil como girar el perfil alar y la fuerza de sustentación pasa a ser *downforce*.

### 2.1.3. Coeficientes que debemos tener en cuenta en el estudio aerodinámico

- **C<sub>x</sub>**: Denominado coeficiente de arrastre representa a la resistencia aerodinámica, se utiliza para evaluar la eficiencia aerodinámica de una carrocería, donde influye la forma del vehículo, el área frontal y otros parámetros que se irán viendo a lo largo del trabajo. Cuanto menor es este coeficiente más eficiente, aerodinámicamente hablando, es el vehículo.
- **C<sub>y</sub>**: Representa el coeficiente debido a la fuerza o empuje lateral
- **C<sub>L</sub>**: Representa la fuerza denominada sustentación aerodinámica que es perpendicular a la velocidad de la corriente incidente.

## 2.2. Partes aerodinámicas del vehículo

### 2.2.1 El Splitter

El *splitter* se sitúa en la parte delantera del vehículo, en la parte baja del parachoques delantero. Es una superficie plana paralela al suelo, muchas veces sujetados con unos soportes, que puede estar hecho de diferentes materiales rígidos, como por ejemplo, de fibra de carbono.

La principal función del splitter delantero es producir una *downforce* creando una diferencia de presiones entre la parte superior e inferior de este.

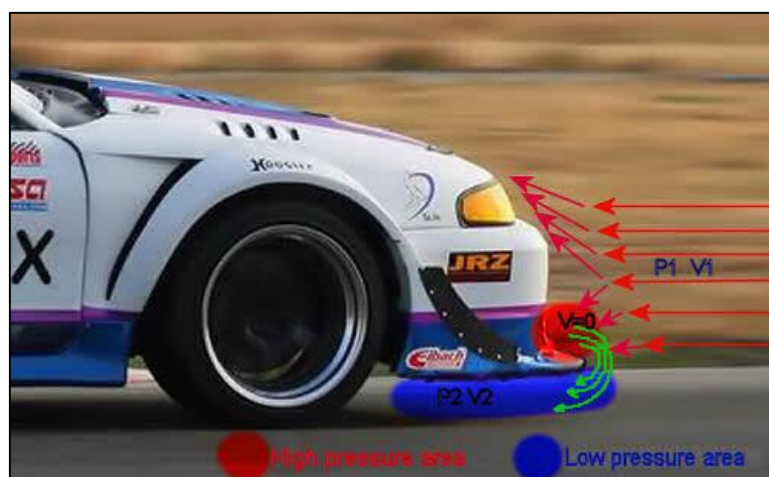


Figura 6-Teoría funcionamiento splitter.  
Fuente: <http://www.formula1-dictionary.net/splitter.html>

El aire viene a una velocidad ( $V_1$ ) i a una presión( $P_1$ ) acorde a la ecuación de Bernoulli, el cuál se dividirá yendo hacia la parte superior e inferior del vehículo en cuestión. Cuando mucho aire va hacia la parte inferior del parachoques delantero produce una acumulación de presión que hace que aumente y contribuya a la sustentación, lo cuál llevará al morro del coche a elevarse reduciendo la tracción en la parte delantera. En cambio, lo que se quiere conseguir es una baja presión (y alta velocidad) debajo del vehículo ya que reducirá la sustentación hasta que sea suficiente y aparezca una *downforce* positiva; lo cuál se conseguirá mediante el *splitter* ya que la presión dinámica irá hacia abajo y esto producirá una succión en el morro del vehículo, reduciendo también el subviraje producido en ciertas curvas.

Como bien se ha dicho, el splitter se puede localizar en la parte inferior del parachoques delantero. Esto es debido a que cuanto más cerca del suelo esté más succión producirá. Sin embargo, si el *splitter* se coloca muy cerca del suelo, producirá menos *downforce* ya que el aire no será capaz de pasar hacia la parte inferior del *splitter* por lo que se reducirá la velocidad y aumentará la presión creando fuerzas de sustentación.

Para evitar que esto pase, se usarán diferentes alturas en el mismo *splitter* evitando lo mencionado en el caso que el vehículo toque al suelo.



Figura 7- Splitter delantero. Fuente: <https://autoinsight.wordpress.com/author/autowp2009/page/58/>



### 2.2.2 El Difusor

Situado en la parte trasera del vehículo, suele tener una forma curva donde la parte final está situada a más altura que la parte inicial y suele acabar muy cerca o al final del vehículo.



Figura 8- Difusor trasero. Fuente: <http://www.formula1-dictionary.net/diffuser.html>

La función principal del difusor es hacer que el aire que viene de la parte inferior se expanda, haciendo que el aire disminuya de velocidad, ya que viene de la parte delantera a una velocidad alta y poca presión, evitando así las posibles turbulencias que se puedan producir en la cola del vehículo debido a las diferencias de presiones entre el aire que circula por el debajo del vehículo al que circula por encima, las cuales pueden generar un arrastre no deseado pudiendo hacer que el vehículo tienda a subir perdiendo agarre.

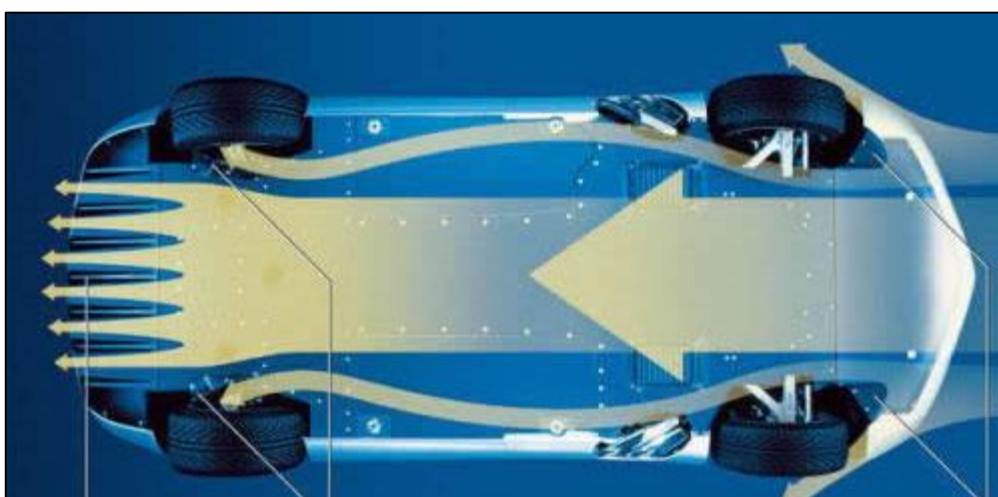


Figura 9- Circulación aire por debajo del vehículo. Fuente: <http://www.formula1-dictionary.net/diffuser.html>

### 2.2.3 Los Alerones

Otra forma de referirse a una ala, ya que la palabra ha sido adoptada del mundo de la aeronáutica, pero en el caso del mundo del automovilismo en lugar de crear sustentación, se crea carga aerodinámica. Se localizan en la parte superior trasera, todo y que se pueden encontrar alerones laterales en algunos coches de alta competición.

#### Terminología de un alerón

Cuando se hablan de alerón se usa una terminología específica para referirse a diversas características y especificaciones técnicas de estos. Primero de todo se encuentra el borde de ataque (BA) que suele ser de una forma afinada, al otro extremo se encuentra el borde de fuga (BF) y la línea que los une es la línea de cuerda (c). El grosor máximo (t) de un alerón viene dado por un porcentaje de la cuerda de este. Cuando la forma de un alerón es asimétrico, se da por entendido que la curvatura inferior será mayor que la superior. La línea de curvatura pasa por los puntos medios desde BA hasta BF. Por último, la relación de aspecto viene dada por la envergadura, que es el ancho del alerón y la cuerda, la cuál suele ser muy baja.

Otro aspecto de gran importancia, explicado con anterioridad, es el ángulo de incidencia que es el formado entre el flujo de aire y la línea de cuerda del alerón.

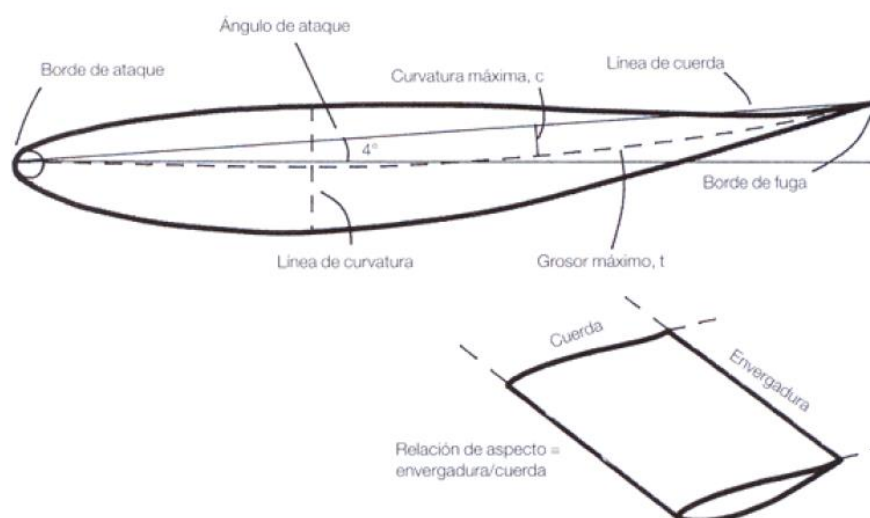


Figura 10 –Terminología. Fuente: Libro Aerodinámica del automóvil de competición de Simon McBeath

Un alerón puede estar formado por un elemento, dos elementos o múltiples elementos, todo esto según las especificaciones técnicas y cargas aerodinámicas requeridas y las limitaciones de la reglamentación dependiendo de la competición.

### **Tipos de alerones**

- **De un solo elemento:** Donde la carga aerodinámica es mayor en cuanto mayor sea el ángulo de ataque hasta que se llega a un punto que se conoce como pérdida ya que hay un desprendimiento del coeficiente de sustentación.

Hay perfiles definidos y catalogados según la normativa NACA



*Figura 11 - Alerón de un elemento. Fuente: <http://www.speeddoctor.net/2013/limited-edition-2014-nissan-gt-r-with-hand-painted-exterior/>*

- **De dos elementos:** Se usan cuando es necesaria una mayor cantidad de carga aerodinámica que con un alerón de un elemento. Consisten en el plano principal y el flap, aumentando así el área de la planta para así crear más carga aerodinámica.

Dentro de los alerones de dos elementos existen dos tipos: El alerón con configuración simple de flap externo y con configuración de flapa de ranura.



*Figura 12 - Configuración flap externo. Fuente: Libro Aerodinámica del automóvil de competición de Simon McBeath*



Figura 13- Configuración de flap de ranura. Fuente: Libro Aerodinámica del automóvil de competición de Simon McBeath

- **De varios elementos:** Parecidos a los alerones de dos elementos la única diferencia es el número de flaps, en este puedes llevar más de un flap obteniendo coeficientes de sustentación negativa aún mayores

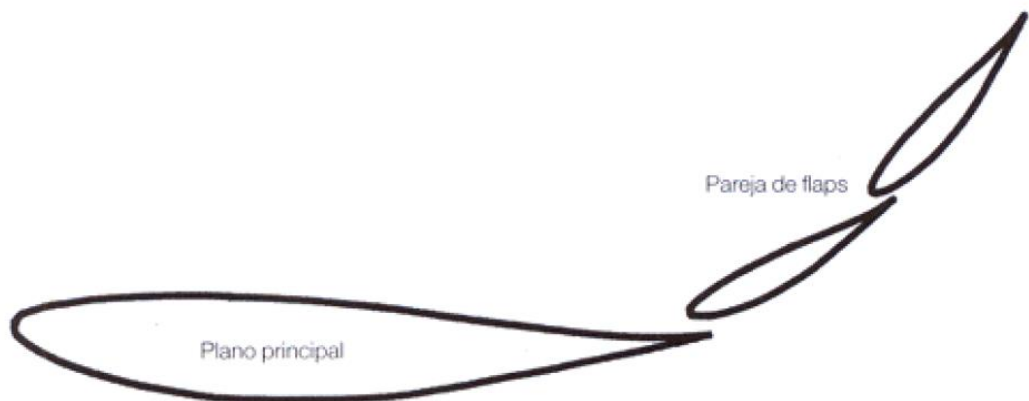


Figura 14 - Configuración alerón de 3 elementos. Fuente: Libro Aerodinámica del automóvil de competición de Simon McBeath

#### 2.2.4. Fondo plano

A parte de su uso como un elemento de protección de los componentes situados cerca del suelo cuando el vehículo se encuentra en movimiento, es un importante componente aerodinámico, ya que se encarga de asegurar que pase, durante

todo el recorrido, un flujo laminar y así evitar turbulencias en lugares donde no se desean, ya que podrían afectar la aerodinámica del vehículo.



Figura 15- Fondo plano F1. Fuente: <http://www.motor.es/formula-1/el-difusor-un-elemento-aerodinamico-vital-201520754.html>

## 2.3. Maneras de estudiar la aerodinámica de un vehículo

Dentro del campo de la aerodinámica hay diversos métodos para llevar a cabo diferentes pruebas para así hallar los coeficientes aerodinámicos de un vehículo, y poder estudiar el comportamiento de los diversos elementos y/o estudiar posibles mejoras en los modelos.

### 2.3.1. *Túnel de viento*

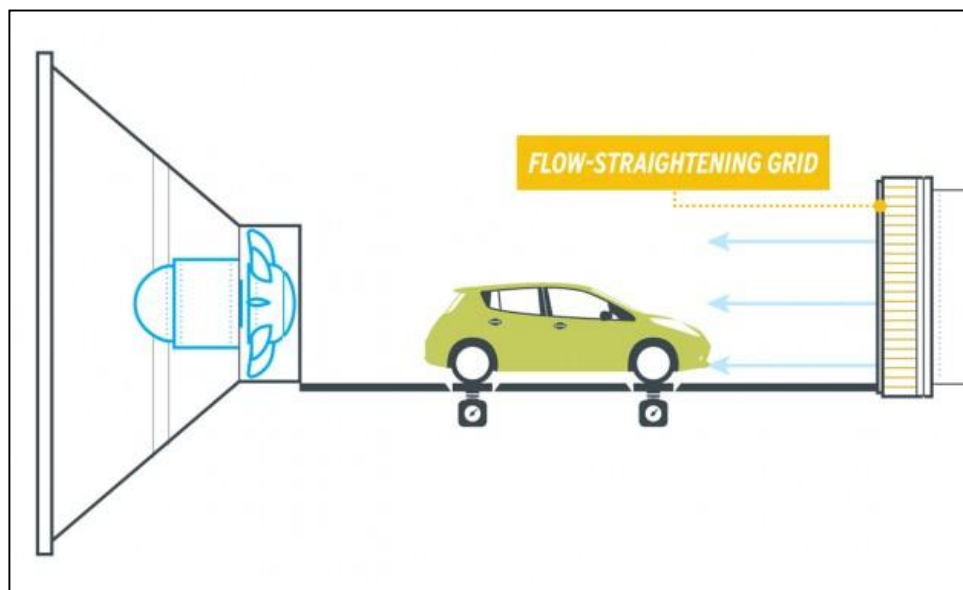


Figura 16- Túnel de viento. Fuente: <http://blog.caranddriver.com/how-a-wind-tunnel-works/>

### ¿Cómo funciona?

Existen varios túneles de viento en el campo de la automoción. Hay que tienen un ventilador gigante con lo que aspira o hecha aire y otras que constan de varios ventiladores más pequeños para llegar a las prestaciones deseadas.

Dentro de estos existen dos tipos:

- **Tipo Gottingen o Randtl tunnel:**

Recirculan el aire en un circuito cerrado. Se conduce el aire des de la salida de la zona de pruebas hasta un ventilador mediante unas paletas giratorias que hacen que se tenga un caudal relativamente uniformes, consiguiendo que el aire llegue de nuevo hasta la zona de pruebas donde hay una contracción, causando el efecto Venturi.

Las ventajas del túnel de circuito cerrado son:

- Un mayor flujo de aire en la zona de pruebas
- Más económicos, ya que una vez el aire circula en el túnel, el ventilador solo debe vencer las pérdidas causadas por la pared y las paletas giratorias.

Pero también presentan ciertas desventajas, como por ejemplo:

- Mayor coste de construcción.
- Se debe utilizar un sistema de purga para evacuar los humos generados en el túnel.

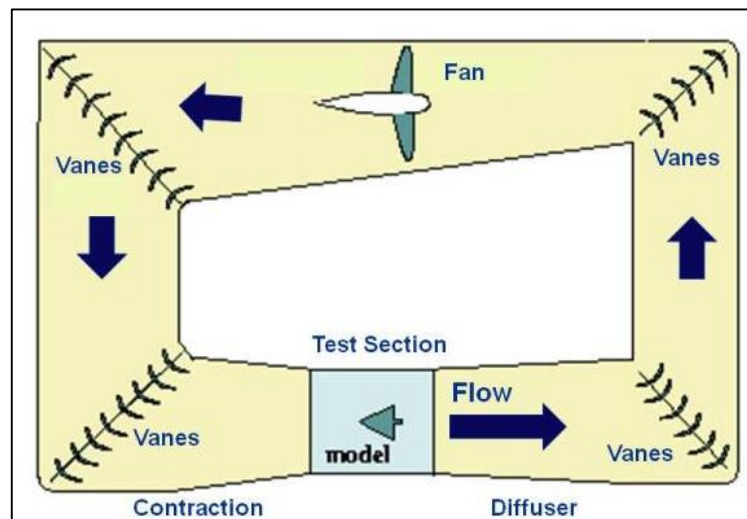


Figura 17- Túnel de viento tipo Gottingen. Fuente: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/tuncret.html>

### ▪ Tipo Eiffel

Se trata de un circuito abierto, donde el aire que pasa por la zona de pruebas, entrando por una zona de contracción, es aspirado de la habitación donde se encuentra el túnel.

Las ventajas de este tipo de túneles son:

- Bajo coste de construcción.
- No hay acumulación de humos, causados en las pruebas aerodinámicas.

Las desventajas son:

- El flujo es, difícilmente, uniforme en las zonas de pruebas, debido a la abertura de campana. Afectado también por las condiciones ambientales
- Gran coste de operación, ya que el ventilador debe acelerar constantemente el flujo de aire.

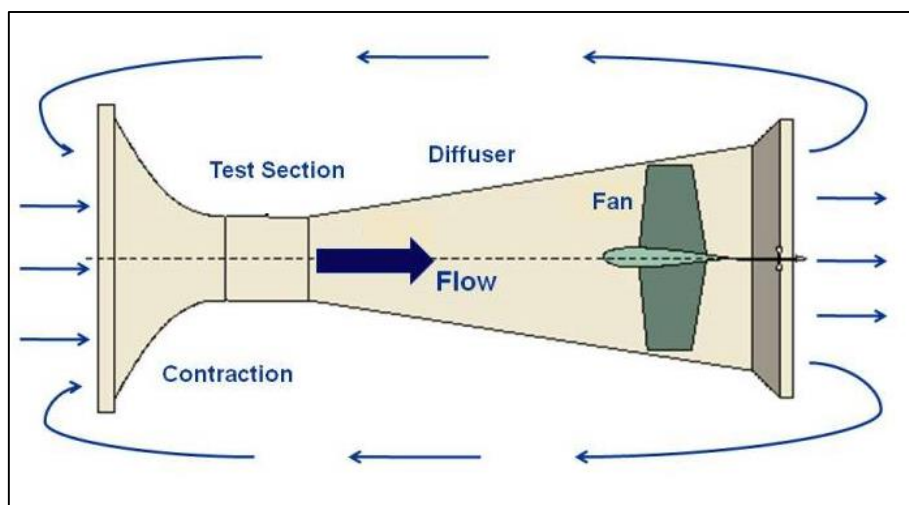


Figura 18-Túnel de viento tipo Eiffel. Fuente: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/tunoret.html>

Dependiendo de las dimensiones del vehículo a evaluar y las limitaciones de las instalaciones se suele escalar el modelo, abaratando costes y consiguiendo unos resultados fiables. No obstante, cuando se han realizado suficientes pruebas mediante CFD para así predecir la aerodinámica del vehículo, se suelen analizar los modelos a escala real, la ventaja de esto es que si ya se ha creado un prototipo, no se tiene gastos para crear un modelo a escala.

Pero como bien se ha dicho, hacer pruebas aerodinámicas en túneles de viento pueden ser muy costosas y de difícil acceso, es por eso, que en este trabajo de

realizaran las pruebas aerodinámicas mediante CFD (Computational Fluid Dynamics) que será explicado a continuación.

### *2.3.2. CFD (Computational Fluid Dynamics)*

Los diferentes softwares de simulación que existen el mercado permiten predecir, de manera aproximada, las características aerodinámicas que se producen cuando un fluido impacta sobre el modelo, permitiendo así, optimizar y diseñar sin tener que construir prototipos antes.

Los cálculos que se realizan en las pruebas de CFD se basan en los principios de Navier-Stokes.

Hay diversos programas usados para la simulación de fluidos, entre ellos están Ansys y el complemento de SolidWorks (Flow simulation). Para realizar las simulaciones necesarias a lo largo del proyecto se usara el complemento de SolidWorks.



# **CAPÍTULO 3: FASES DEL PROYECTO**

En este capítulo se hará explícito el proceso seguido a la hora de seleccionar el vehículo de estudio y, al mismo tiempo, las distintas fases que se han seguido para conocer la mejora aerodinámica del coche seleccionado.

### 3.1. Selección del vehículo

Actualmente la aerodinámica es un aspecto muy importante a la hora de diseñar un vehículo nuevo, es por ello que cada vez se intenta dar más hincapié en la mejora aerodinámica del vehículo, consiguiendo tanto una mejora en el desarrollo del coche como la disminución de la contaminación debido a un menor coeficiente de arrastre.

Es por ese motivo que la selección del coche para realizar este proyecto será un vehículo antiguo, un Volkswagen Golf MK1 de 1982, donde se podrá apreciar la mejora aerodinámica y la importancia de esta a la hora del diseño del coche.

Primero de todo se van a analizar las características aerodinámicas del coche de serie, es decir, tal y como sale de fábrica.

Para realizar el estudio aerodinámico de un coche es indispensable saber las siguientes premisas (facilitadas por el fabricante):

- Área frontal:  $1.86 \text{ m}^2$
- Coeficiente de arrastre: 0.43
- Arrastre:  $0.7998 \text{ m}^2$

Como bien se ha dicho los datos anteriores son los teóricos facilitados por el fabricante, lo cual en nuestro modelo pueden oscilar debido a que es un modelo simplificado.

## 3.2. Estudio y cálculos del modelo seleccionado

### 3.2.1 Área frontal

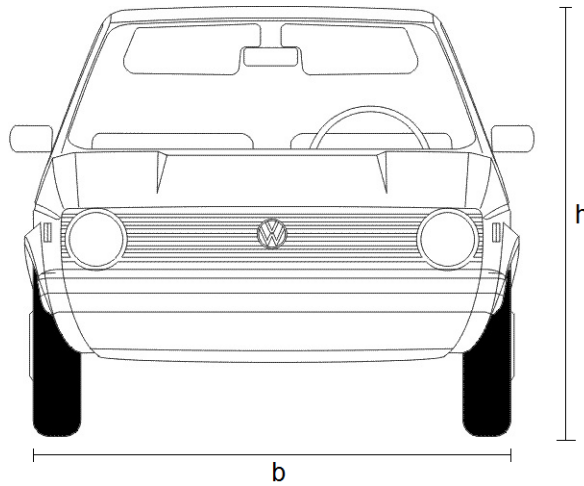


Figura 19- Área frontal.

Sabiendo los datos mostrados en la imagen se puede calcular el área frontal del vehículo con la siguiente fórmula:

$$A = h \cdot b \cdot f$$

Dónde f es un factor de corrección = 0.8 a 0.85

Según las dimensiones tomadas del vehículo se obtiene:

<ul style="list-style-type: none"><li>• h=1370 mm</li><li>• b=1470 mm</li><li>• f= 0.8</li></ul>	} $A = 1370 \cdot 1470 \cdot 0.85 = 1711.815 \text{ mm} = \mathbf{1.71 \text{ m}}$
--	--

### 3.2.2. Coeficiente de arrastre

Para el cálculo del coeficiente de arrastre se han llevado a cabo varias simulaciones de fluidos mediante el software de SolidWorks, para así saber cuál es la fuerza aplicada a diferentes velocidades.

Se han usado diferentes velocidades para así poder obtener una media y ser más precisos todo y que la aerodinámica no tiene mucho juego a pequeñas velocidades.

Los cálculos a seguir para conseguir el coeficiente de arrastre son los siguientes:

$$C_x = \frac{D}{\frac{\rho V^2 \cdot S}{2}}$$

Donde:

- D resistencia aerodinámica (N) o bien en este caso Fx.
- $\rho$  es la densidad del aire
- S es el área frontal, calculada con anterioridad
- V es la velocidad en m/s

Como bien se ha dicho con anterioridad se van a realizar simulaciones en un rango de velocidades:

- **50 km/h**

Primero de todo, se ha realizado el estudio a una velocidad de 50 km/h, se deben buscar los datos referentes a la presión atmosférica y densidad del aire respecto a la temperatura medioambiental.

Se supone una temperatura ambiental de 25°C y una presión atmosférica de 1atm por lo que se puede determinar la densidad del aire que será de 1.180 kg/m<sup>3</sup>.

Por último, con las simulaciones realizadas mediante SolidWorks la fuerza de arrastre Fx será 98.484 N

Fuerza	Valor (N)	Mínima (N)	Máxima(N)
Resultante	104.755	104.386	104.887
X	98.484	98.210	98.681
Y	35.692	35.498	35.817
Z	-0.700	-0.700	-0.456

Tabla 1- Fuerzas a 50km/h. Fuente: Excel simulaciones

Una vez se han obtenido todos los datos necesarios se puede proceder a los cálculos de los coeficientes de arrastre, obteniendo así:

$$C_x = \frac{D}{\frac{\rho V^2 \cdot S}{2}} = \frac{98.484}{\frac{1 \cdot 13.89^2 \cdot 1.71}{2}} = \mathbf{0.497}$$

- **100 km/h**

Cogiendo los datos de entorno de la velocidad anterior solo tendremos que saber la fuerza que ejerce el flujo sobre el vehículo, obteniendo los siguientes datos gracias a la simulación de SolidWorks:

Fuerza	Valor (N)	Mínima (N)	Máxima (N)
Resultante	418.7	418.67	420.99
X	394.28	394.28	395.80
Y	140.94	139.91	143.6
Z	-3.352	-3.461	-2.140

Tabla 2- Fuerzas a 100km/h. Fuente: Excel simulaciones

Siguiendo los cálculos realizados anteriormente, obtenemos que:

$$C_x = \frac{D}{\frac{\rho V^2 \cdot S}{2}} = \frac{394.287}{\frac{1 \cdot 27.78^2 \cdot 1.71}{2}} = \mathbf{0.498}$$

Se puede observar que la diferencia entre el  $C_x$  de 50 y de 100 es muy pequeña. Procedamos, pues, a los cálculos del modelo a velocidades mayores.

- **150 km/h**

Fuerza	Valor (N)	Mínima (N)	Máxima (N)
Resultante	941.43	941.44	946.61
X	887.08	888.07	889.71
Y	315.20	315.04	323.67
Z	-6.24	-7.23	-3.93

Tabla 3- Tabla fuerzas a 100km/h. Fuente: Excel simulaciones

Obteniendo así:

$$C_x = \frac{D}{\frac{\rho V^2 \cdot S}{2}} = \frac{887.08}{\frac{1.18 \cdot 41.67^2 \cdot 1.71}{2}} = \mathbf{0.498}$$

- **200 km/h**

Fuerza	Valor (N)	Mínima (N)	Máxima (N)
Resultante	1681.71	1681.71	1710.77
X	1582.25	1582.399	1601.95
Y	569.25	569.25	600.234
Z	-11.33	-19.559	-11.33

Tabla 4- Fuerzas a 200 km/h. Fuente: Excel simulaciones

$$C_x = \frac{D}{\frac{\rho V^2 \cdot S}{2}} = \frac{1582.25}{\frac{1.18 \cdot 55.56^2 \cdot 1.71}{2}} = \mathbf{0.499}$$

- **250 km/h**

Fuerza	Valor (N)	Mínima (N)	Máxima (N)
Resultante	2612.01	2610.03	2620.22
X	2461.96	2458.67	2468.61
Y	872.28	868.96	879.33
Z	-21.38	-23.31	-14.04

Tabla 5- Fuerzas a 250 km/h. Fuente: Excel simulaciones

$$C_x = \frac{D}{\frac{\rho V^2 \cdot S}{2}} = \frac{2461.96}{\frac{1.18 \cdot 69.44^2 \cdot 1.71}{2}} = \mathbf{0.497}$$

### 3.2.3. Coeficiente antisustentación

Para el cálculo del coeficiente de antisustentación se usaran los datos obtenidos con las simulaciones de SolidWorks al igual que los datos para realizar el cálculo del coeficiente de arrastre.

Solo hay una pequeña diferencia a la hora de calcular el coeficiente, y es que en lugar de calcularlo con la fuerza en el sentido del flujo se utiliza la fuerza perpendicular a este.

$$C_y = \frac{F_y}{\frac{\rho V^2 \cdot S}{2}}$$

Según las tablas anteriores, obtenida en las simulaciones, tenemos los datos suficientes para poder calcular el coeficiente de antisustentación.

- **50 km/h**

$$C_y = \frac{F_y}{\frac{\rho V^2 \cdot S}{2}} = \frac{35.69}{\frac{1.18 \cdot 13.89^2 \cdot 1.71}{2}} = 0.18$$

- **100 km/h**

$$C_y = \frac{F_y}{\frac{\rho V^2 \cdot S}{2}} = \frac{140.94}{\frac{1.18 \cdot 27.78^2 \cdot 1.71}{2}} = 0.178$$

- **150 km/h**

$$C_y = \frac{F_y}{\frac{\rho V^2 \cdot S}{2}} = \frac{315.20}{\frac{1.18 \cdot 41.67^2 \cdot 1.71}{2}} = 0.176$$

- **200 km/h**

$$C_y = \frac{F_y}{\frac{\rho V^2 \cdot S}{2}} = \frac{569.25}{\frac{1.18 \cdot 55.56^2 \cdot 1.71}{2}} = 0.179$$

- **250 km/h**

$$C_y = \frac{F_y}{\frac{\rho V^2 \cdot S}{2}} = \frac{872.28}{\frac{1.18 \cdot 69.44^2 \cdot 1.71}{2}} = 0.176$$

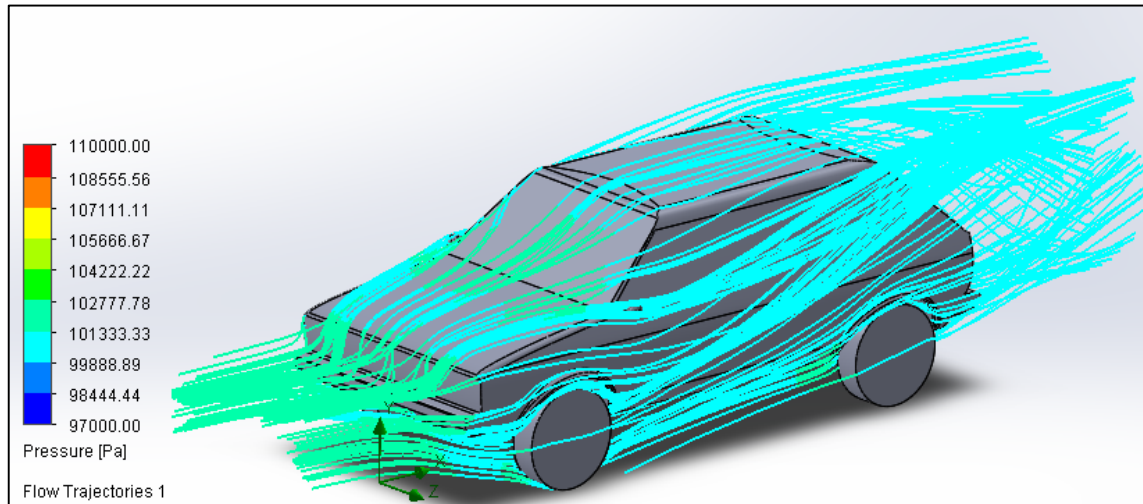
Una vez calculados todos los coeficientes se expone un cuadro resumen para facilitar la lectura y poderlos comparar a lo largo del proyecto.

Coeficiente	50 km/h	100 km/h	150 km/h	200 km/h	250 km/h
Arrastre	0.497	0.498	0.498	0.499	0.497
Sustentación	0.18	0.178	0.176	0.179	0.176

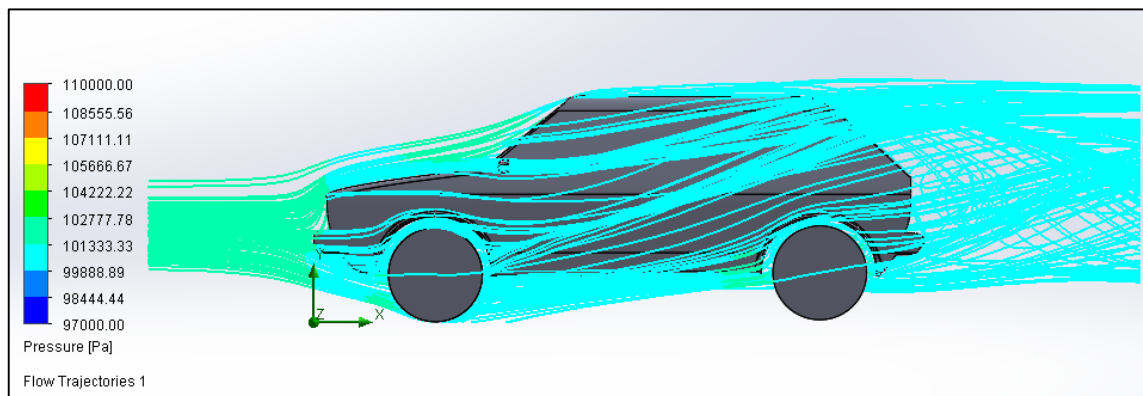


### 3.3. Comentarios y comparativa del flujo a diferentes velocidades

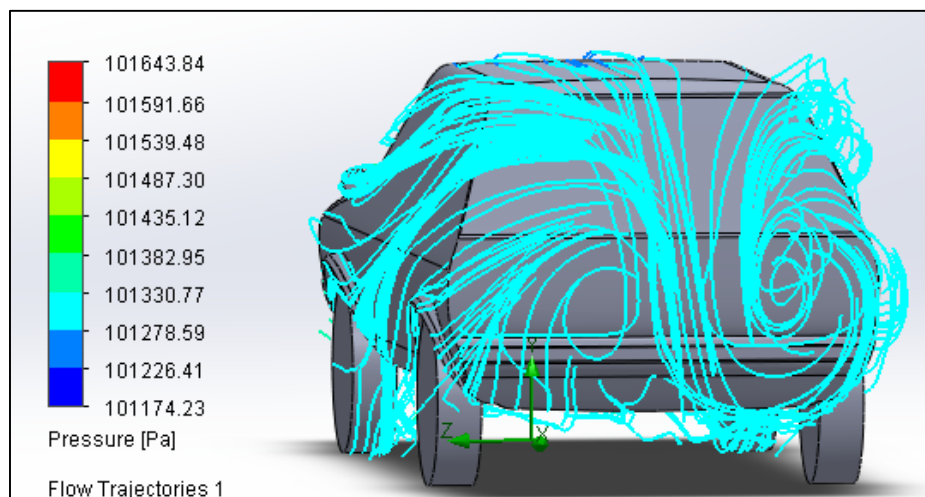
*Simulación de fluidos a 50 km/h*



*Figura 20 - Simulación 1 a 50 km/h. Fuente: Simulación SolidWorks*



*Figura 21 - Simulación 2 a 50 km/h. Fuente: Simulación SolidWorks*



*Figura 22 - Simulación 3 a 50 km/h. Fuente: Simulación SolidWorks*

## Simulación de fluidos a 100 km/h

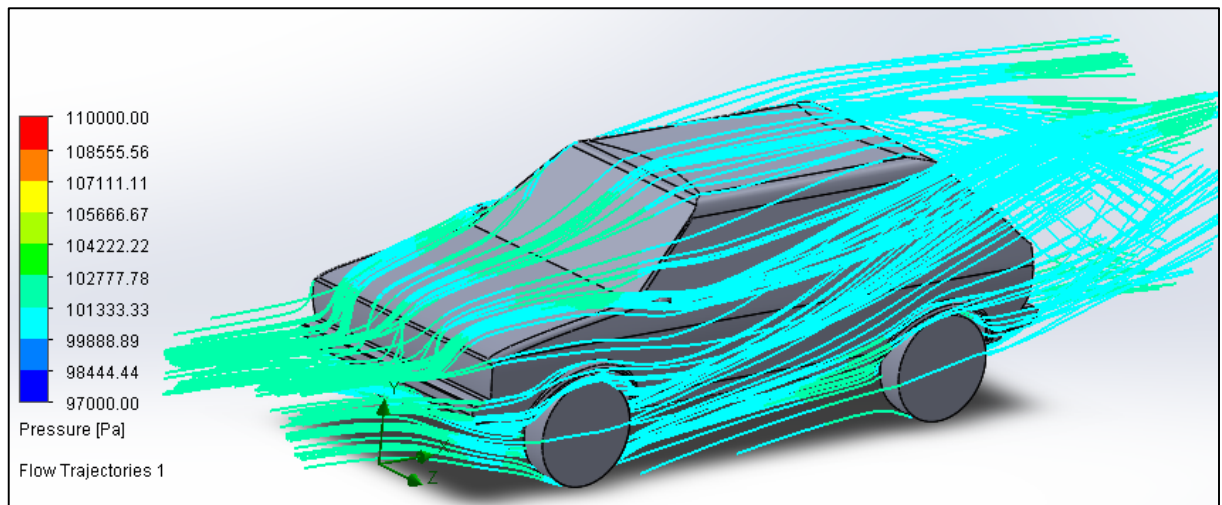


Figura 23 - Simulación 1 a 100km/h. Fuente: Simulación SolidWorks

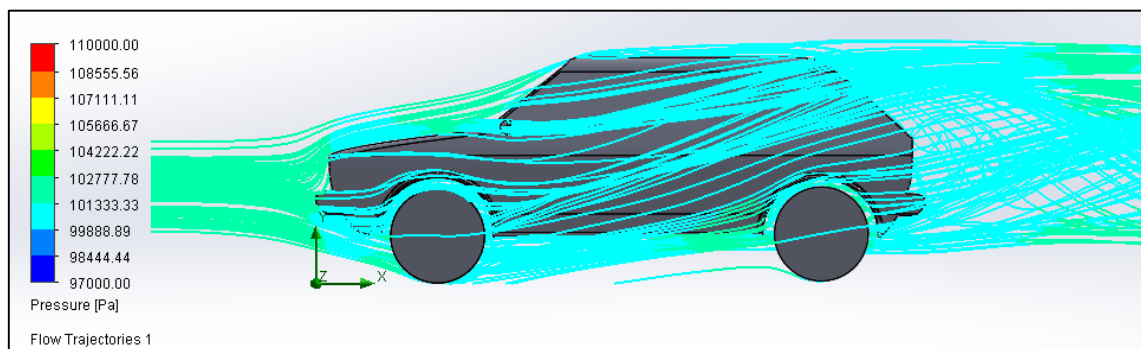


Figura 24 - Simulación 2 a 100 km/h. Fuente: Simulación SolidWorks

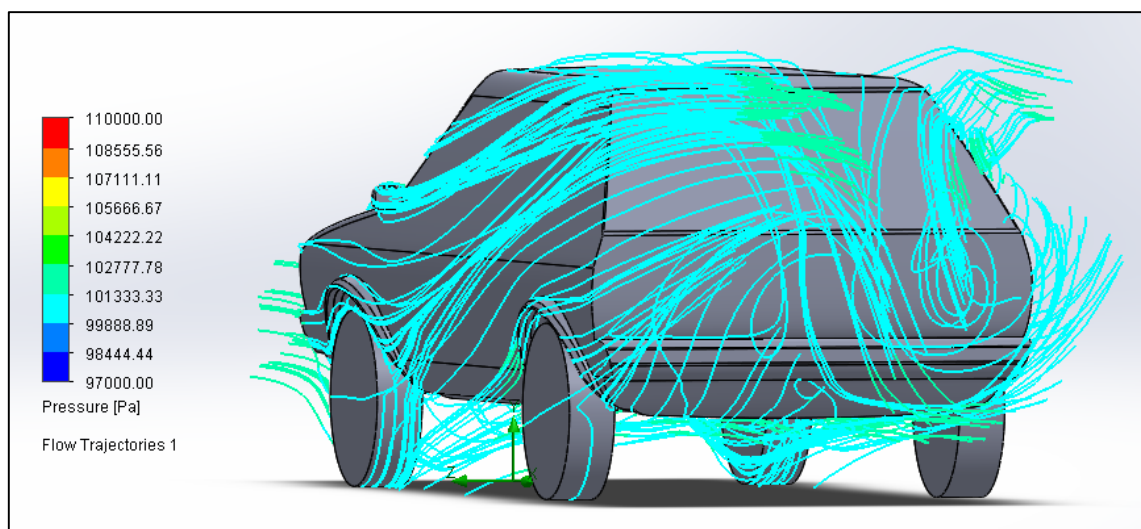


Figura 25 - Simulación 3 a 100 km/h. Fuente. Simulación SolidWorks.

## Simulación de fluidos a 150 km/h

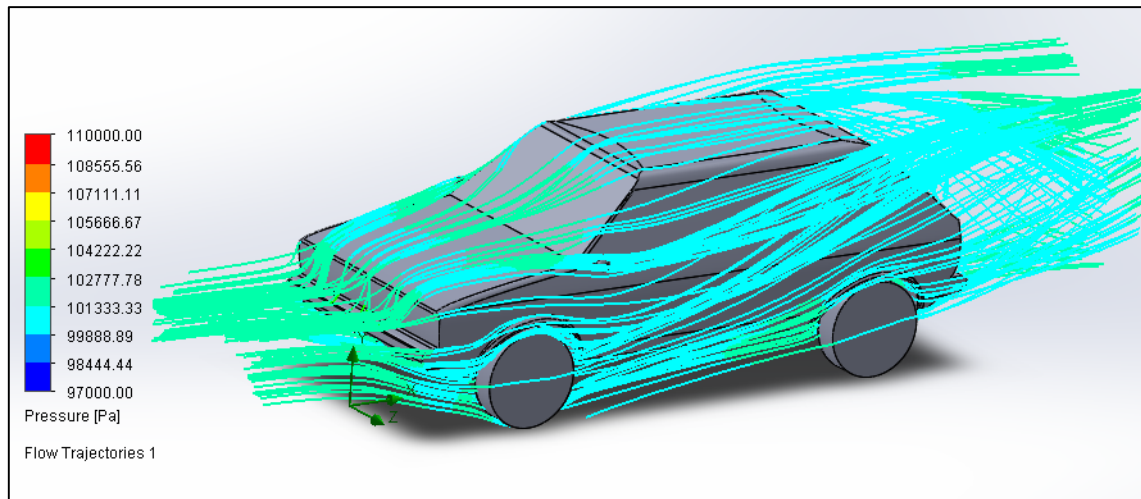


Figura 26 - Simulación 1 a 150 km/h. Fuente: Simulación SolidWorks

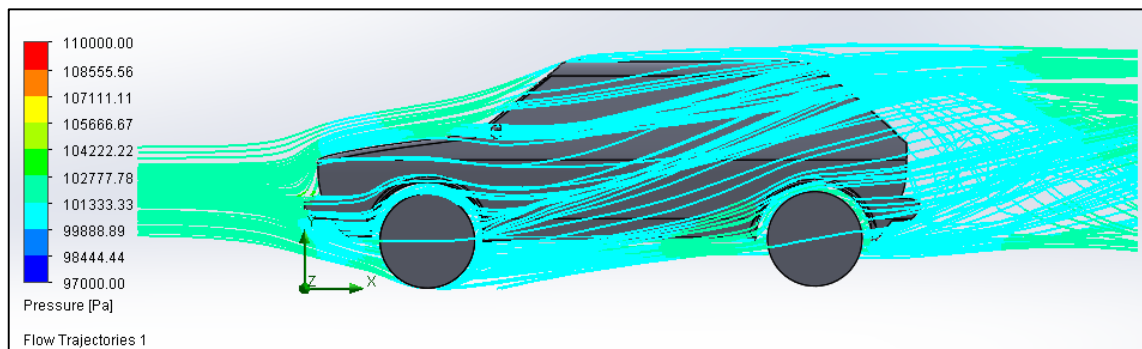


Figura 27 - Simulación 2 a 150 km/h. Fuente: Simulación SolidWorks

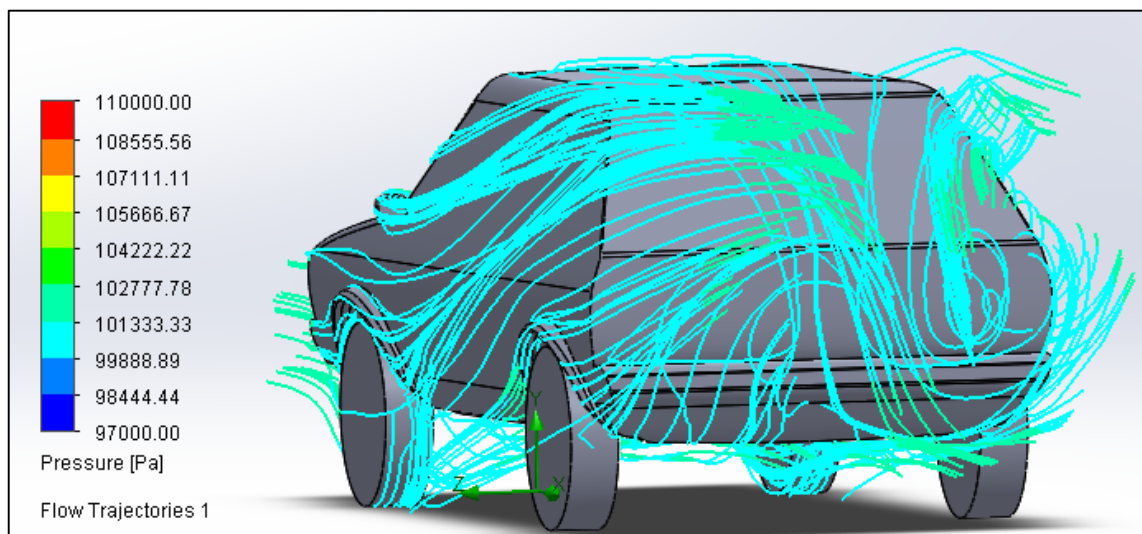


Figura 28 - Simulación 3 a 150 km/h. Fuente: Simulación SolidWorks

## Simulación de fluidos a 200 km/h

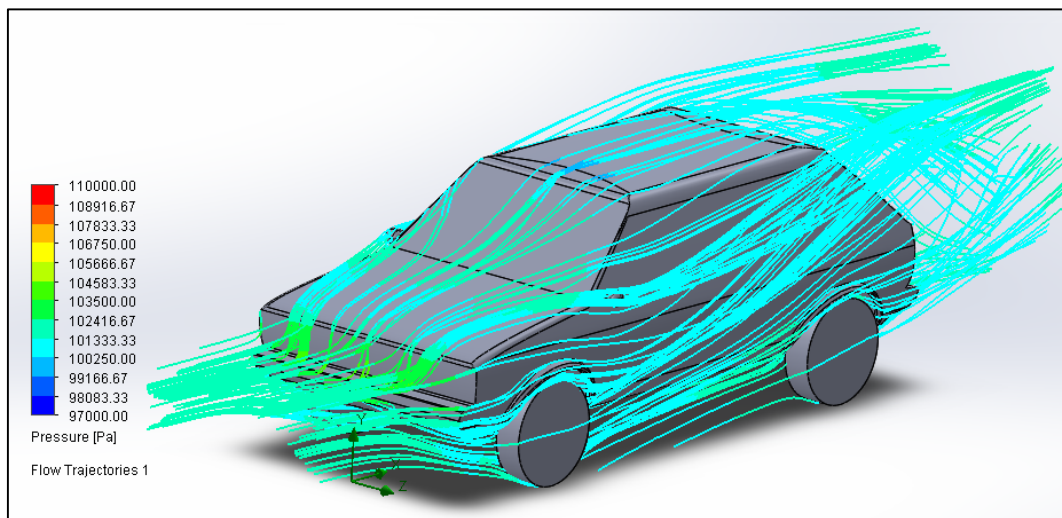


Figura 29 - Simulación 1 a 200 km/h. Fuente: Simulación SolidWorks

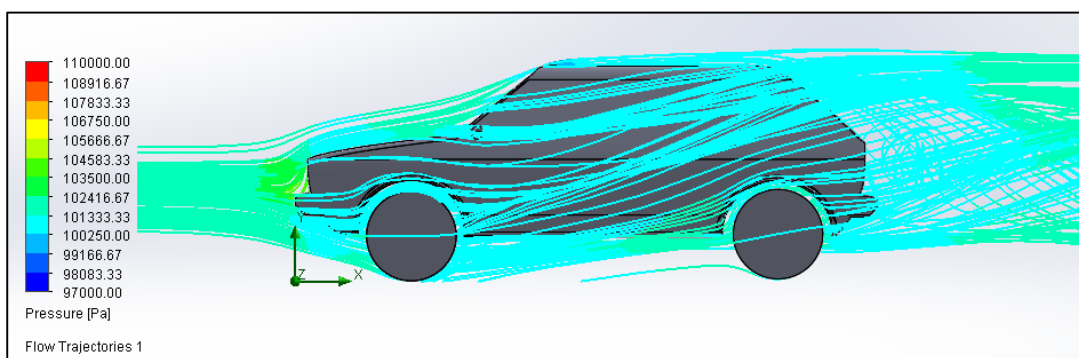


Figura 30 - Simulación 2 a 200 km/h. Fuente: Simulación SolidWorks

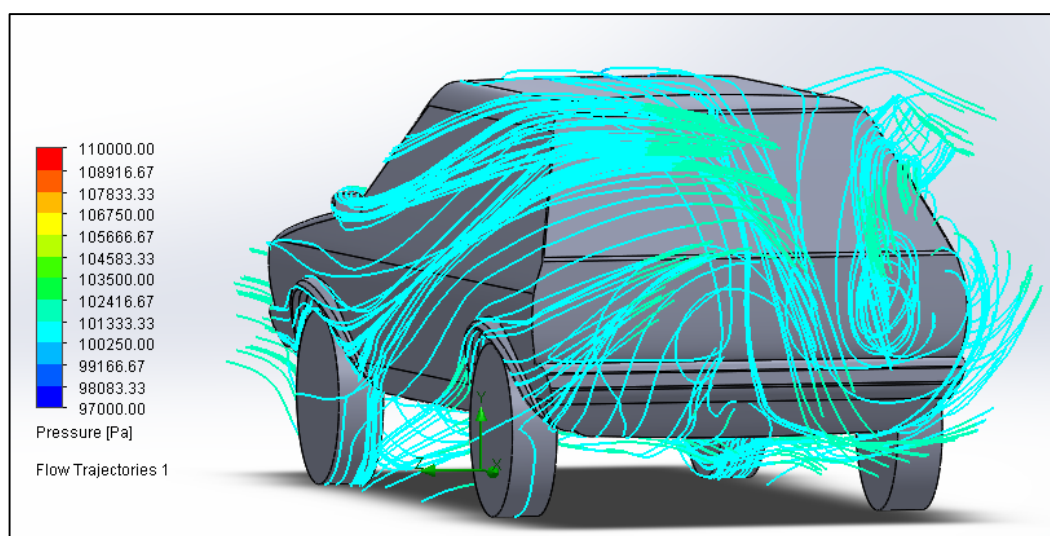


Figura 31 - Simulación 3 a 200 km/h. Fuente: Simulación SolidWorks



## Simulación de fluidos a 250 km/h

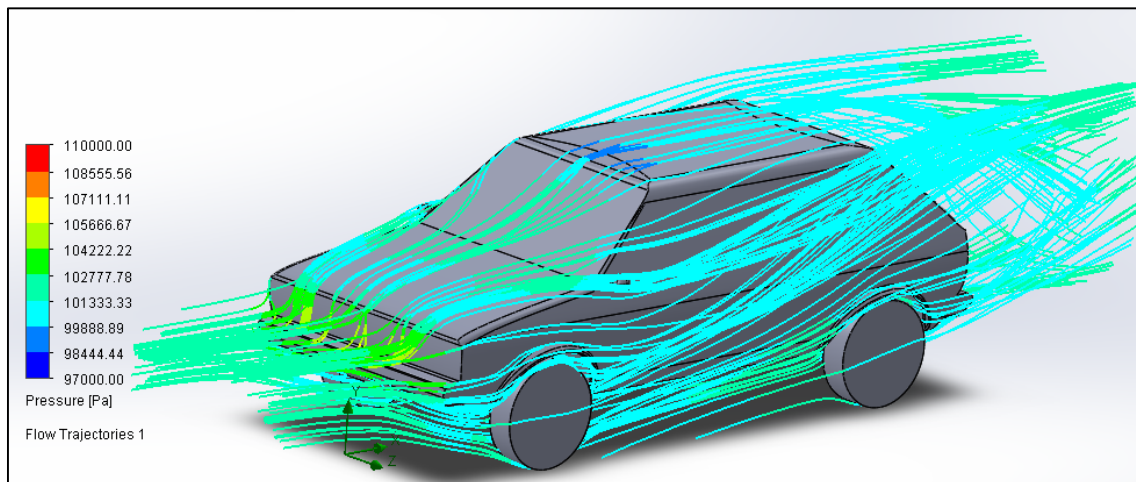


Figura 32 - Simulación 1 a 250 km/h. Fuente: Simulación SolidWorks

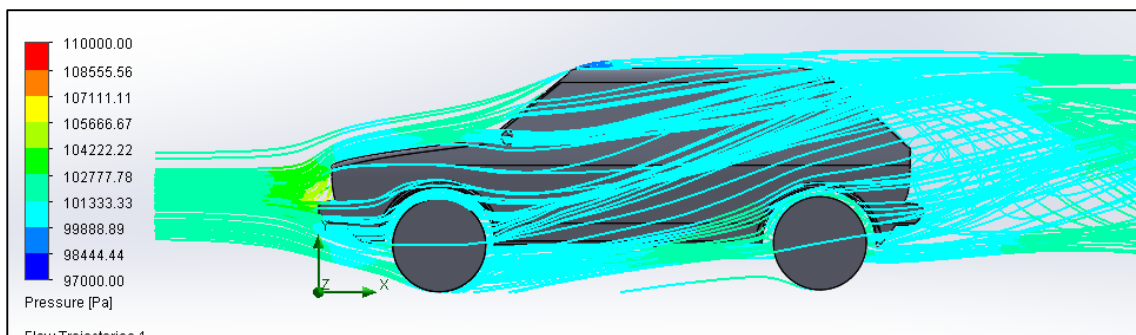


Figura 33 - Simulación 2 a 250 km/h. Fuente: Simulación SolidWorks

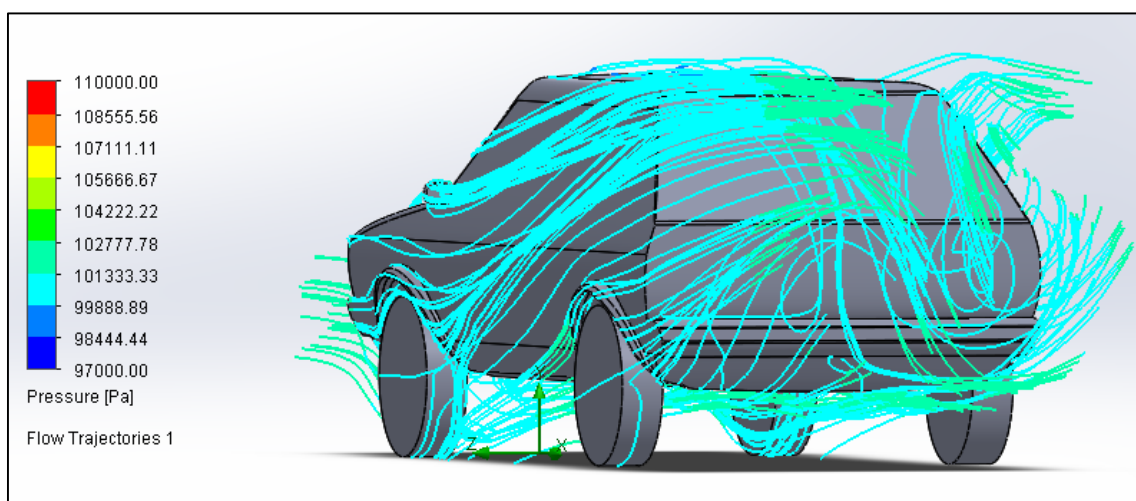


Figura 34 - Simulación 3 a 250 km/h. Fuente: Simulación SolidWorks

Una vez expuestas las imágenes de todos los ensayos, se puede ver que a medida que aumenta la velocidad aumenta ligeramente la presión del fluido y a la vez se crean más turbulencias, este es el motivo por el cual la aerodinámica es más importante a grandes velocidades que a pequeñas.

## 3.4. Pasos a seguir para la mejora aerodinámica

Hay diversos factores que afectan a la mejoría aerodinámica de un vehículo, el primero, y se podría decir más importante, es el coeficiente de arrastre, pero no menos importante y relacionado a lo que viene a ser el coeficiente es el área frontal del vehículo.

Así que primero de todo se deben analizar los aspectos los cuáles serán modificados y/o añadidos para conseguir dicha mejoría, entre estos se encuentran:

### 3.4.1. Parte delantera

Para disminuir el coeficiente de arrastre es beneficioso reducir la altura en donde la velocidad del aire es nula, suavizar las líneas del capó y aumentar la inclinación hasta lograr la máxima adherencia de flujo de aire sobre él

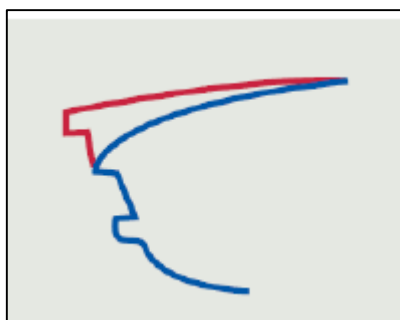


Figura 35 - Diseño morro. Fuente: Libro Aerodinámica del automóvil de competición de Simon McBeath

### 3.4.2. Bajos del vehículo

Debido a los elementos mecánicos del vehículo, tubo de escape, etc. producen huecos entre el vehículo y el suelo que producen turbulencias y un flujo irregular a lo largo del automóvil. Para evitarlo se debe tapar la zona inferior mediante láminas para así conseguir un flujo regular, además se debe diseñar un parachoques con un spoiler para así reducir al máximo la cantidad de aire que circula por la parte inferior.

### 3.4.3. Zona lateral

Para conseguir un diseño óptimo se debe llegar a un punto óptimo donde el curvado del lateral y el valor del área frontal sea el ideal.

### 3.4.4. Parte posterior

Dentro de los diferentes diseños que se pueden encontrar se deben destacar tres grandes grupos:



Figura 38 - Diseño cuadrado. Fuente: Propia



Figura 37 - Diseño inclinado. Fuente: Propia

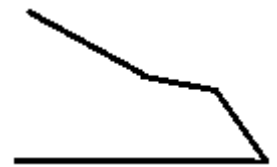


Figura 36- Diseño escalonado. Fuente: Propia

El diseño que más puede llegar a mejorar la aerodinámica de un vehículo es en forma de escalón ya que se puede conseguir que el flujo desprendido en la zona superior se vuelva a adherir en la parte final del maletero. Se deben evitar pendientes entre 20° y 40° en la ventanilla trasera, para así evitar torbellinos.

### 3.4.5. Entradas de refrigeración

Es el mayor enemigo de la aerodinámica de los automóviles, ya que produce un gran freno, todo y eso la refrigeración del motor y el confort de los pasajeros son de vital importancia, así que no se deben eliminar sino que buscar un equilibrio entre las necesidades de aire y el coeficiente de arrastre del vehículo.

### 3.4.6. Reducción de la altura del vehículo

Reduciendo la altura del vehículo se consigue un fluido más uniforme en cuanto a presión y regular a lo largo del vehículo en la parte inferior, tal y como se comentó anteriormente.



## 3.5. Normativa aplicable para la mejora aerodinámica del vehículo

Para llevar a cabo la preparación y/o mejora de un coche se deben seguir las normativas establecidas por la Unión Europea para que así el mencionado coche sea legal para la circulación en la vía pública. En el caso que la preparación se efectúe para un coche de competición se deberán seguir las normas impuestas por la organización del evento.

En este caso se mejorará aerodinámicamente un coche apto para la vía pública así pues se deberán cumplir los actos reglamentarios recogidos en la Directiva de Homologación de Tipo Europeo (HTE) 2007/46 CE, donde se encuentran los puntos a seguir para llevar a cabo *la homologación CE de los vehículos a motor, así como la homologación de sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos.*

Primero de todo se debe saber qué tipo de vehículo, según la misma Directiva, se está mejorando para así poder localizar las debidas normativas dentro de la Directiva anteriormente mencionada.

En este caso concreto, partiendo del hecho que se está trabajando para la mejora de un Volkswagen Golf MK1, se puede hacer explícito que forma parte de la siguiente categoría:

<b>Categoría M</b>	Vehículos de motor concebidos y fabricados principalmente para el transporte de personas y su equipaje (Reglamento UR 678/2011).
--------------------	--

Y, dentro de esta categoría:

<b>Categoría por Criterios de Homologación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Clasificación por criterios de construcción. Anexo II R.G.V</b>
<b>Categoría M1</b>	Vehículos de la categoría M que tengan, como máximo, ocho plazas de asiento además de la del conductor. No dispondrán de ningún espacio para viajeros de pie. El número de plazas podrá limitarse a una (es decir la del conductor).	10

Sabiendo a que categoría pertenece se pueden consultar las diversas reglamentos a seguir por tal de poder homologar el vehículo con el kit aerodinámico que se va a desenvolver como por ejemplo, el reglamento relativo a los salientes externos ECE R26, la Protección de Peatones R EC 78/2009, etc.

Además como el proyecto incluye una reforma en el vehículo se deberá tener en cuenta el Manual de Reformas de Vehículos publicado por el Ministerio de Industria para así poder pasar la Inspección Técnica de Vehículos (ITV).

Teniendo en cuenta el **Reglamento UE Nº1230/2012** se debe hacer explícito que el equipamiento opcional que se añade a un vehículo en su equipamiento estándar, se hará bajo la responsabilidad del fabricante y a petición del cliente. Además, deberán cumplir las dimensiones máximas autorizadas. En el ANEXO I del reglamento citado en anterioridad, en los requisitos técnicos de los vehículos de las categorías M<sub>1</sub> y N<sub>1</sub>, se explicita que las dimensiones no deberán exceder de los valores siguientes:

- Longitud: 12,00 mm
- Anchura: 2,55 mm
- Altura: 4,00 mm

Se debe tener en cuenta que para medir la longitud, la anchura y la altura, el vehículo deberá estar en orden de marcha y colocarse sobre una superficie horizontal plana, con los neumáticos inflados a la presión recomendada por el fabricante.

Por otro lado, teniendo en cuenta el Manual de Reformas de vehículos, concretamente des del punto 8.50 hasta el 8.52, los cuales hacen referencia a las reformas que afectan al acondicionamiento exterior de los vehículos, se puede conocer que los distintos elementos cambiados y añadidos para la mejora aerodinámica del Volkswagen Golf MK1 se ven afectados por tal reforma:

<b>SISTEMA AFECTADO</b>	<b>REFERENCIA</b>
Dispositivos de protección trasera	70/221/CEE
Salientes exteriores	74/483/CEE
Guardabarros	78/549/CEE
Masas y dimensiones (automóviles)	92/21/CEE
Colisión frontal	96/79/CE
Protección de peatones	2003/102/CE

Para llevar a cabo la modificación, incorporación o desinstalación de elementos en el exterior del vehículo, habiendo tenido en cuenta los actos reglamentarios de las referencias anteriores, para homologar el vehículo es necesario presentar la siguiente documentación:

<b>Proyecto Técnico</b>	<b>Certificación final de obra</b>	<b>Informe de Conformidad</b>	<b>Certificado del Taller</b>
SÍ	SÍ	SÍ	SÍ

En el *punto 3* de la **Directiva 79/483/CEE** se explicita el proceso a seguir para homologar los salientes exteriores, en la cual se explica que, conjuntamente con la documentación que se tiene que rellenar, es necesario *adjuntar fotografías de las partes delantera, trasera y laterales del vehículo tomadas desde un ángulo de 30º a 45º en relación al plano longitudinal mediano vertical del vehículo; dibujos*

*del parachoques y de determinados salientes exteriores. Además, para el servicio técnico se deberán presentar determinadas piezas y muestras de los materiales utilizados.*

*En el punto 5.4 se determina que ningún punto que sobresalga de la superficie exterior tendrá un radio de curvatura inferior a 2,5mm.*

*En el punto 6.5.1 se explicita que los extremos laterales de los parachoques deberán ir doblados hacia la superficie exterior para reducir al mínimo el peligro de enganche.*

En el ANEXO II de esta misma Directiva encontramos el método para determinar la dimensión del saliente de un elemento montado sobre la superficie exterior.

En la Directiva **78/549/CEE**, en las preinscripciones generales del Anexo I se hace explícito que *los vehículos deben estar previstos de guardabarros, los cuales se diseñarán para proteger, en la medida del posible, a los usuarios de la carretera de las proyecciones de piedras, barro, hielo, nieve y agua.*

Los guardabarros deberán ser, por lo menos, suficientemente grandes como para cubrir la anchura del neumático.

En la Directiva **96/79/CE** se explicita, como requisito técnico, que se tiene que hacer una simulación por conocer el impacto que una colisión frontal ocasionaría al coche.

Por último y también como un aspecto transcendental para el buen cumplimiento de los distintos actos reglamentarios que se deben cumplir para homologar correctamente el coche reformado, se debe tener en cuenta la gran necesidad *de adoptar urgentemente un paquete de medidas pasivas y activas para mejorar la seguridad de los usuarios vulnerables de la vía pública, tales como peatones, ciclistas y motociclistas.*

## 3.6. Posibles cambios para mejorar la aerodinámica

Primero de todo se observará el vehículo y se buscaran defectos y/o mejoras, por tal de que estos beneficien a la aerodinámica del automóvil en cuestión.

NOTA: Para evitar cálculos repetitivos y hacer el proceso más llevadero solo se realizaran las simulaciones para una velocidad de 150 km/h, siendo una de las más desfavorables.

Se pueden detectar varias cosas a mejorar:

### 3.6.1. Altura del vehículo

La altura del vehículo es exageradamente alta con respecto a las dimensiones del coche, por lo tanto el primer cambio que se efectuará será bajar el vehículo hasta que la normativa vigente y la mecánica del automóvil lo permitan.

El vehículo en cuestión, un Volkswagen Golf MK1, tiene una altura de serie de 1373mm la cual reduciremos a 1331 mm.

Ejecutando la simulación de fluidos mediante SolidWorks, obtenemos los siguientes valores:

Fuerza	Valor (N)	Mínima (N)	Máxima (N)
X	823.35	823.35	850.27
Y	305.27	305.277	350.28
Z	-9.71	-12.01	-6.72

*Tabla 6 - Valores rebajando altura. Fuente: Excel simulaciones*

Solo con esta diferencia de 42mm se consigue que la  $F_x$  vaya des de 887 N a 823 N, reduciendo así el  $C_x$  des de 0.498 a 0.424. Como podemos observar solo el hecho de bajar la altura del coche tiene una notable mejoría en el comportamiento del vehículo.

Por lo que hace al coeficiente de antisustentación no tiene casi variación, por lo que se puede asegurar que la altura del vehículo no afecta a la sustentación de este.

Se puede asegurar que rebajando la altura de coche se mejora un 7.21% el coeficiente de arrastre y un 3.14% el coeficiente de sustentación.

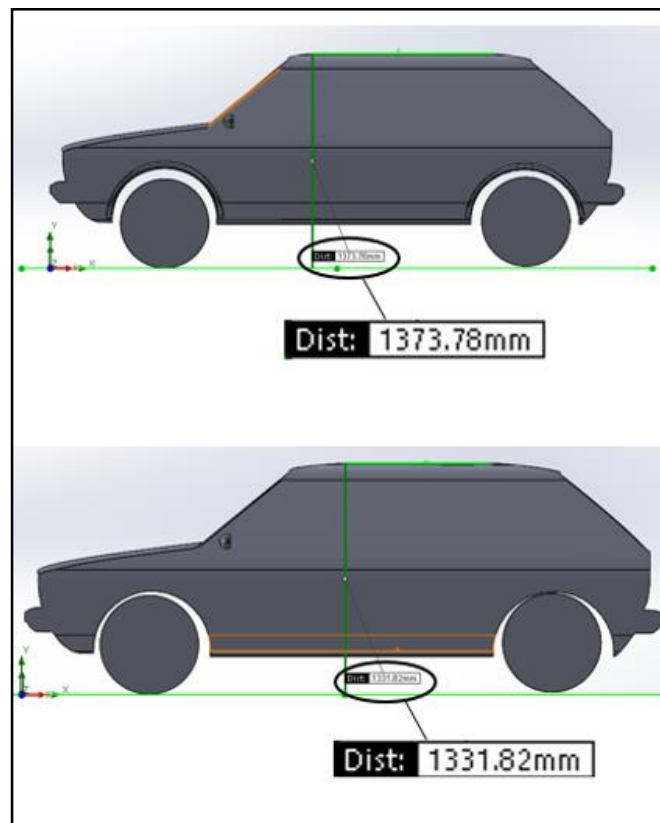


Figura 39- Altura coche antes y después. Fuente: Simulaciones SolidWorks

### 3.6.2. Suelo plano

El segundo punto será la implementación de un suelo plano, que nos evitará que el flujo tenga turbulencias al pasar por los huecos del motor y componentes mecánicos del coche, además se añadirán unas pequeñas paredes que canalizan el aire y evita que se desvíe lateralmente, consiguiendo así que el flujo de aire viaje aún más recto.

Con esta mejora se obtienen unos valores de fuerza de:

Fuerza	Valor (N)	Mínima (N)	Máxima (N)
X	788.98	788.37	807.90
Y	251.79	249.79	291.63
Z	-10.75	-13.66	-8.89

Tabla 7 - Valores añadiendo un suelo plano. Fuente: Excel simulaciones

Con este añadido se consigue que la  $F_x$  baje hasta 789 N dejando un  $C_x$  de 0.407.

También se puede observar una notable mejora en el coeficiente de sustentación obteniendo una  $F_y$  de 250.27 y un coeficiente de 0.129, gracias a la disminución de espacio entre el coche y el suelo haciendo así que se disminuya las turbulencias mejorando ambos coeficientes.

Obteniendo una mejora de un 4.13% el coeficiente de arrastre y un 17.44% el coeficiente de sustentación.

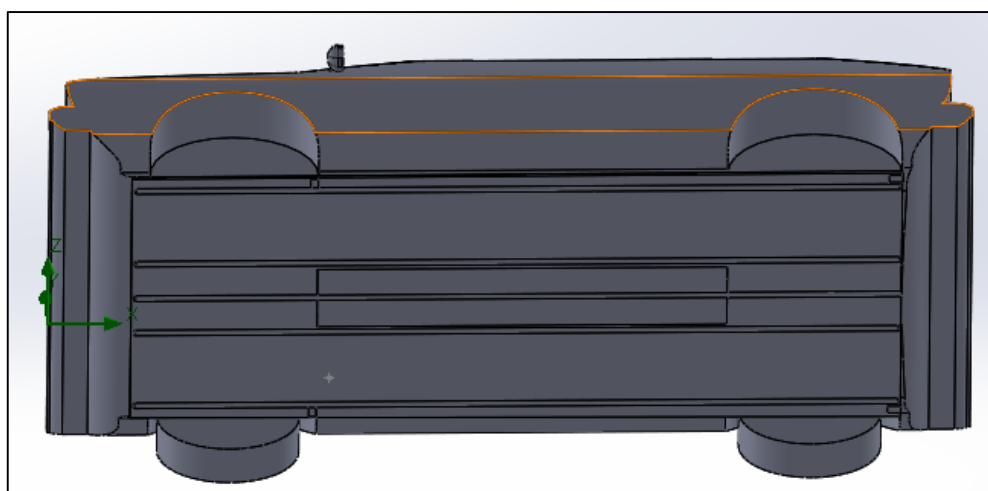


Figura 40 - Suelo plano. Fuente. Simulaciones SolidWorks.

### 3.6.3. Parachoques delantero

Aplicando un parachoques delantero se consigue rebajar la altura delantera del vehículo, además de crear una superficie más continua donde el fluido de pueda desplazar con menos distorsiones y derivando mayor cantidad de aire hacia la parte inferior del vehículo, consiguiendo los siguientes datos:

Fuerza	Valor (N)	Mínima (N)	Máxima (N)
X	750.27	749.9	780.3
Y	275.85	273.85	290.63
Z	-12.98	-15.56	-10.42

Obteniendo un  $C_x$  de 0.38 teniendo en cuenta que el coeficiente de sustentación aumenta ligeramente.

Por lo tanto se obtiene una mejora de un 4.03% en el coeficiente de arrastre pero una empeora de un 8.36% sobre el último valor obtenido.

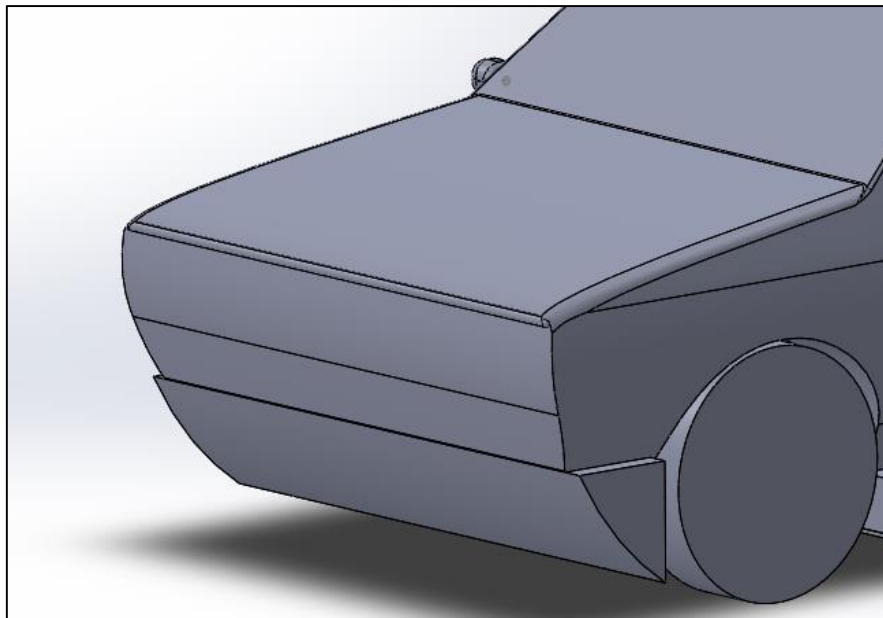


Figura 41- Parachoques añadido. Fuente: Simulaciones SolidWorks



### 3.6.4. Ruedas

Otro de los puntos a tener en cuenta en el vehículo a mejorar se encuentra en las ruedas, ya que suele ser una parte conflictiva donde se producen grandes turbulencias debido a los huecos de estas, para mejorar esta parte se aplicaran unos guardabarros con lo que se consigue que el fluido se pueda desplazar por la carrocería del vehículo sin tener tanta interferencia con las ruedas.

Obteniendo los siguientes valores:

Fuerza	Valor (N)	Mínima (N)	Máxima (N)
X	745.27	745.1	780.3
Y	270.85	270.82	283.63
Z	-13.45	-18.88	-11.56

Tal y como se puede ver las mejoras que se consiguen con estas piezas es muy ligera, ya que con los valores obtenidos de consigue rebajar el  $C_x$  a 0.384 y el  $C_L$  a 0.139 que supone un 0.667% y un 1.818% respectivamente

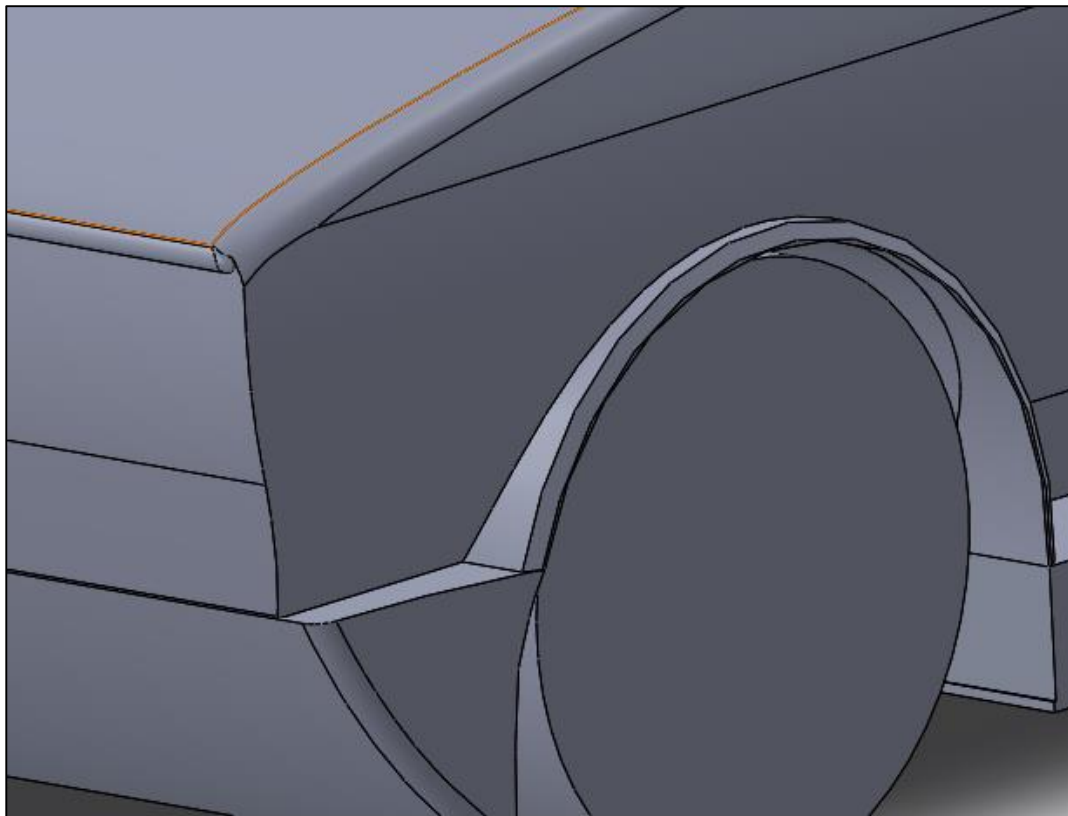


Figura 42- Guardabarros delantero. Fuente: Simulaciones SolidWorks

### 3.6.5. Faldones laterales

Los faldones laterales se usaran como superficie de transferencia entre la parte delantera y la trasera haciendo así que el fluido esté más controlado en la parte inferior, ya que así se producirán menos turbulencias y además se aumentará la superficie en la parte inferior del vehículo. Una vez hecha la simulación se obtienen los siguientes valores:

Fuerza	Valor (N)	Mínima (N)	Máxima (N)
X	730.65	730.1	750.3
Y	260.33	259.86	273.55
Z	-12.58	-15.89	-10.35

Así pues, se puede decir que se consigue unos coeficientes de 0.377 de arrastre y 0.134.

Por lo tanto una mejora de un 1.962% en el arrastre y un 3.88% en la sustentación.

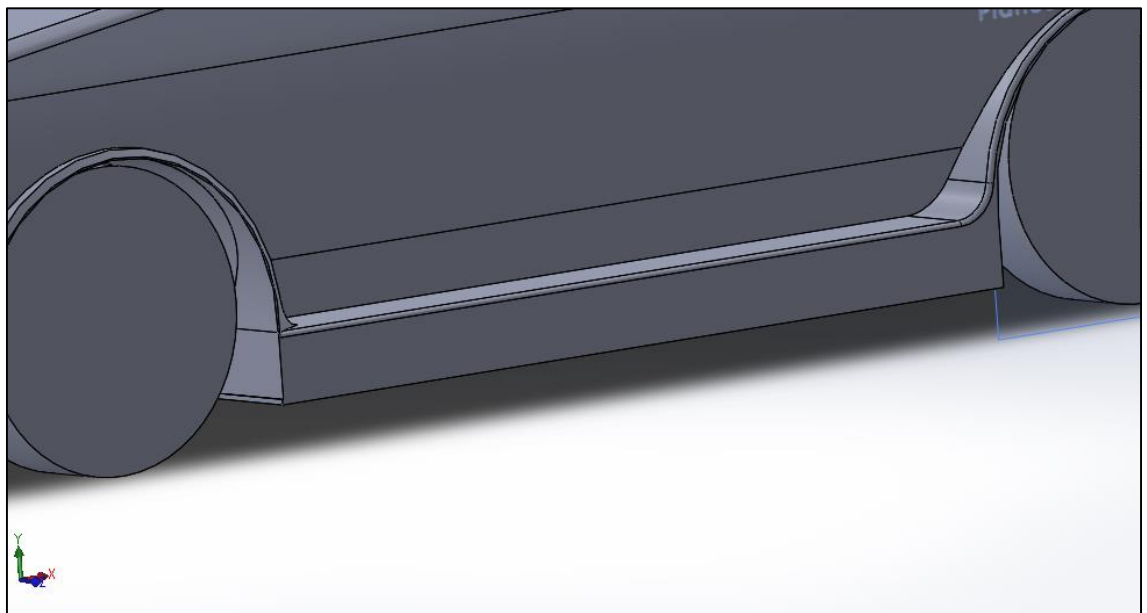


Figura 43 - Faldón lateral. Fuente: Simulaciones SolidWorks

### 3.6.6. Parachoques trasero

Se aplicará un parachoques trasero más bajos y con curvas más suavizadas que incluye un difusor trasero, que ayudara a que el fluido se expanda al llegar a la parte final del vehículo haciendo que el aire disminuya la velocidad y aumente la presión ayudando así a eliminar las posibles turbulencias que se producirían debido a las diferencias de presiones de la parte superior e inferior.

Consiguiendo así:

Fuerza	Valor (N)	Mínima (N)	Máxima (N)
X	720.54	720.01	740.55
Y	230.56	229.86	240.11
Z	-6.55	-8.95	-3.22

Es decir, reducir  $F_x$  hasta 720.54 N y  $F_y$  hasta 230.56 N, por lo tanto mejorando un 1.438% el arrastre y un 11.43% la sustentación y obteniendo un coeficiente de arrastre de 0.372 y un coeficiente de sustentación de 0.118.

### 3.6.7. Alerón trasero

Por último, y como más conflictivo será el alerón trasero, ya que si no está bien calculado puede anular todas las mejoras hechas hasta el momento, como bien se dijo anteriormente, hay distintos tipos de alerones con diversas morfologías y funciones.

En este caso, debido al tipo de vehículo, se aplicara un alerón de un elemento, donde la carga aerodinámica depende del ángulo de ataque.

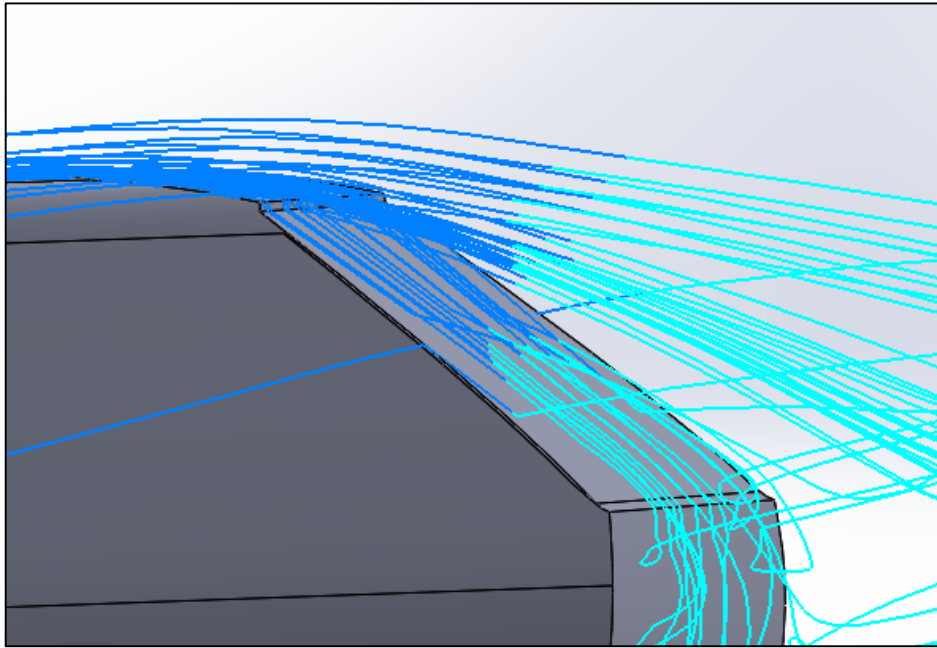


Figura 44 - Simulación sin alerón. Fuente: Simulaciones SolidWorks

En la figura 40 se puede ver la simulación del vehículo sin alerón, se puede ver un desprendimiento en la parte superior donde el aire se dispersa y acaba creando turbulencias. La idea del diseño del alerón es disminuir el coeficiente de sustentación lo máximo posible y a la misma vez intentar disminuir o no incrementar excesivamente el arrastre.

La primera prueba que se efectuó fue un alerón con un ángulo de ataque directo, es decir, cuando acaba la superficie del coche empieza el ángulo del alerón.

Los resultados obtenidos es una mejora considerable en la disminución del coeficiente de sustentación pero un aumento también considerable del arrastre, debido a las grandes turbulencias que se crean en la cola. Por lo tanto, se sigue buscando una opción mejor.

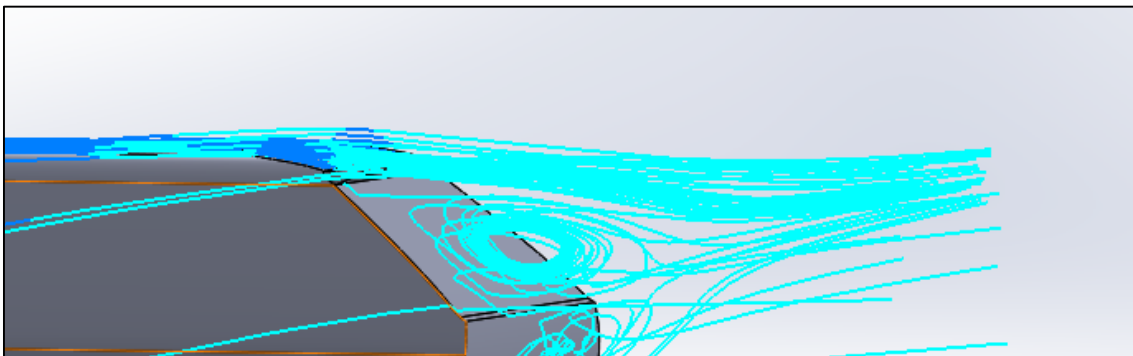


Figura 45- Prueba alerón 1. Fuente: Simulaciones SolidWorks

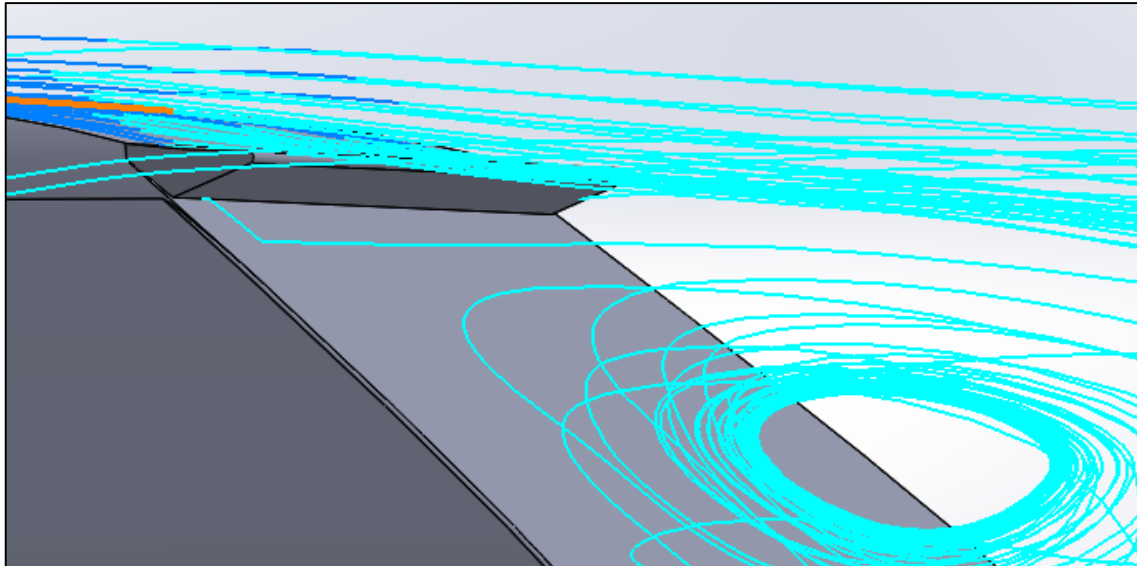


Figura 46 - Prueba alerón 1. Fuente: Simulaciones SolidWorks

Para desarrollar la segunda prueba se observa el vehículo sin alerón y se observa que se puede aplicar un alerón con un cambio de forma, es decir, que alargue la superficie de contacto pero que a la vez tenga ángulo al final obteniendo así un *downforce* mayor.

Cuando se simula se ve que así es, se ha podido obtener una mejora notable en el coeficiente de sustentación sin empeorar demasiado el coeficiente de arrastre.

Por lo tanto se obtienen unos resultados finales de:

Fuerza	Valor (N)	Mínima (N)	Máxima (N)
X	730.48	730.10	750.54
Y	190.31	189.89	210.55
Z	-2.814	-5.069	-0.631

Mejorando un 17.45 % el coeficiente de sustentación del coche y perdiendo un 1.36 % en el coeficiente de arrastre.

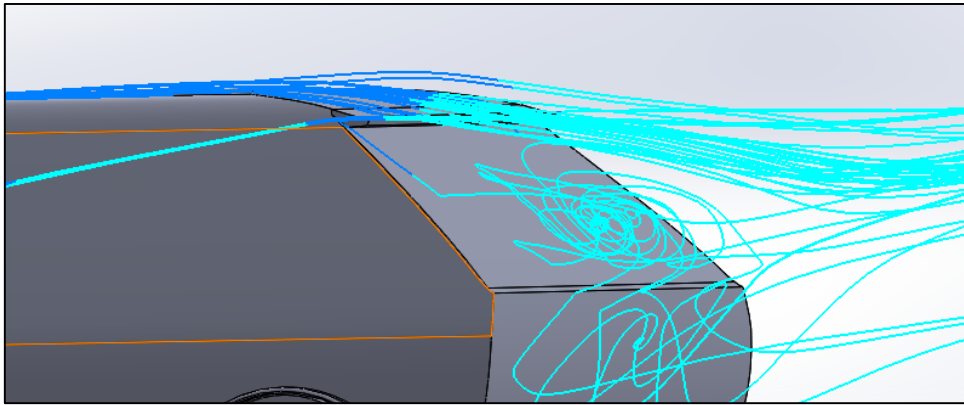


Figura 47- Prueba alerón 2. Fuente: Simulaciones SolidWorks

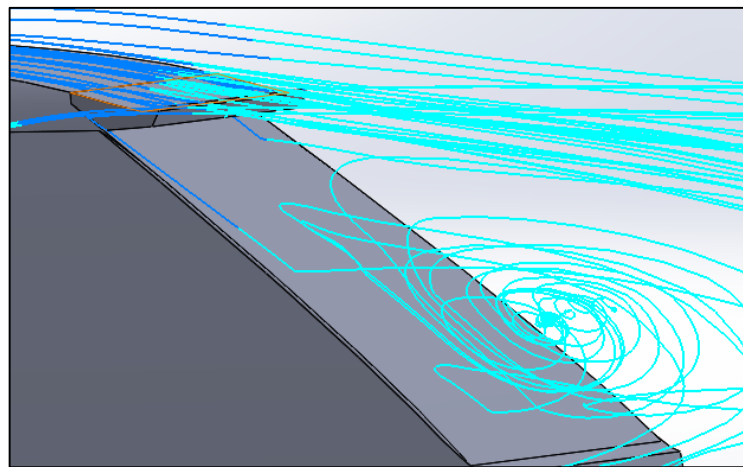


Figura 48-Prueba alerón 2. Fuente: Simulaciones SolidWorks

Con estos últimos datos obtenidos se puede hacer un pequeño resumen de lo que ha mejorado el coche des del principio hasta ahora con las mejoras aplicadas en el coche.

Por lo tanto al principio del trabajo se tenía un Volkswagen Golf MK1 con los siguientes coeficientes:

Coeficiente	150 km/h
Arrastre	0.498
Sustentación	0.176

Obteniendo unos coeficientes después de la mejora de:

<b>Coeficiente</b>	<b>150 km/h</b>
Arrastre	0.377
Sustentación	0.0099

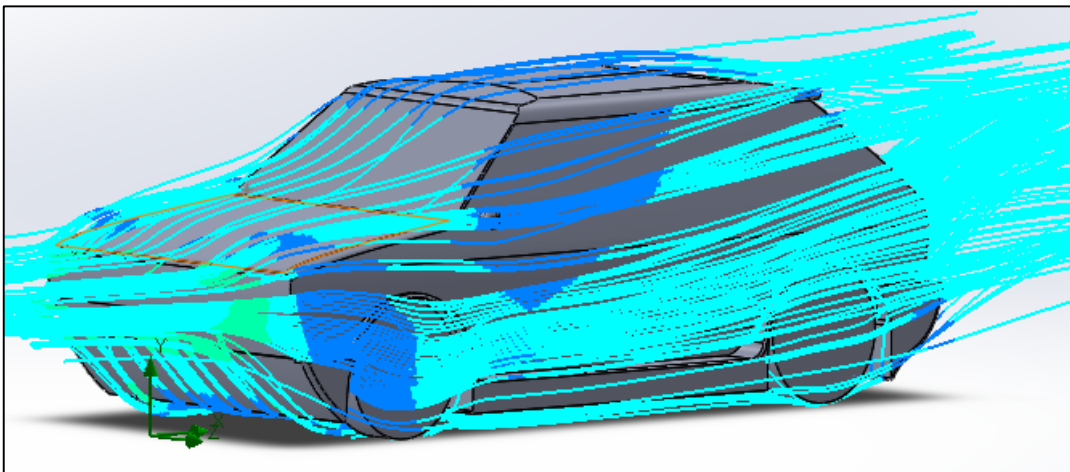
Por lo tanto, esto implica una mejora de un 24.29% en el coeficiente de arrastre y un 39.58% en la sustentación del coche.

### 3.7. Comparativa del antes y el después de la mejora aerodinámica

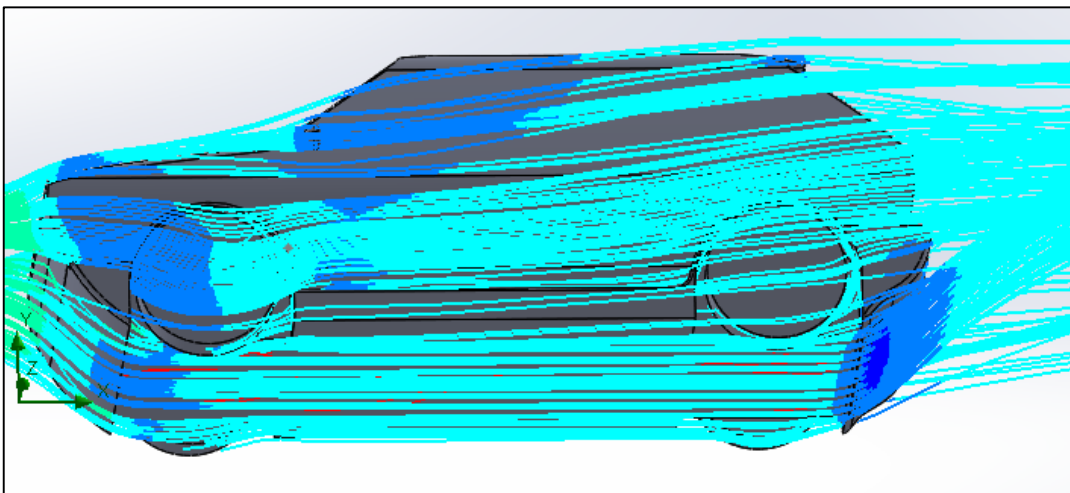
Una vez acabadas todas las mejoras aerodinámicas del vehículo, se hará una breve comparativa general para ver las mejoras relacionadas con flujo de aire; mostrando la reducción de turbulencias y aumento del flujo laminar en el vehículo.

Para ver las simulaciones hechas en el vehículo de serie se debe acceder a la página 36 del proyecto y observar las figuras 26,27 y 28.

A continuación se muestran las imágenes que hacen visible la mejora aerodinámica realizada en los puntos anteriores.

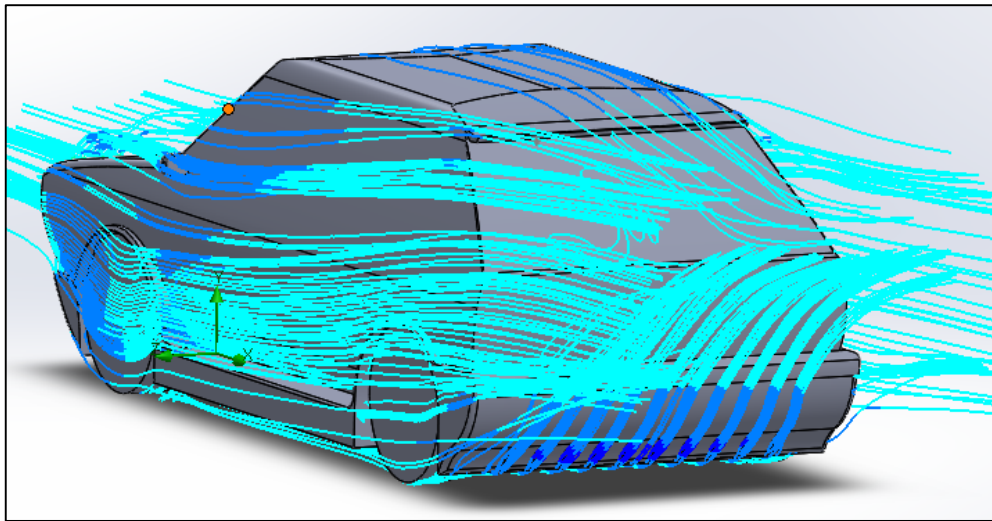


*Figura 49-Simulaciones con la mejora aerodinámica. Fuente: Simulaciones mejora SolidWorks*



*Figura 50-Simulaciones con la mejora aerodinámica. Fuente: Simulaciones mejora SolidWorks*





*Figura 51-Simulaciones con la mejora aerodinàmica. Fuente: Simulaciones mejora SolidWorks*

Como se puede ver en las figuras anteriores, se consigue un flujo más controlado a lo largo de todo el vehículo, eliminando así la gran mayoría de las turbulencias que se producían en el vehículo de serie.

Observando la parte delantera del vehículo, se puede ver como el flujo de aire se separa sin producir un gran choque en la carrocería, desviando gran parte del flujo hacia la parte inferior del vehículo donde, como se puede ver en la figura 49, está controlado para evitar que se produzcan turbulencias.

Una vez el flujo llega a la parte final del vehículo, el difusor entra en acción expandiendo el flujo que viene de la parte inferior y, en la parte superior del vehículo, el alerón hace que la capa límite no se desprenda eliminando las turbulencias que se producían en esta parte en el vehículo de serie.

Por último, se puede observar una unión limpia del flujo que viaja por la parte inferior y por la parte superior, consiguiendo los objetivos que se perseguían.

## 3.8. Elección de los materiales

Antes de empezar el diseño de las diversas piezas y moldes en cuestión es necesario investigar los posibles materiales que se usan hoy en día en la industria de la automoción.

### 3.8.1. Material piezas

Primero de todo para las piezas que van a ser añadidas en el vehículo se pueden encontrar dos grandes grupos de materiales; los "composites" o polímeros.

- En los "composites" podemos encontrar 2 materiales usados en la fabricación de coches: la fibra de vidrio y la fibra de carbono. Los "composites" tienen diversas ventajas hoy en día, principalmente la relación resistencia/peso de las piezas fabricadas en estos materiales, así como los procesos de fabricación, ya que permiten fabricar pocas unidades de manera artesana y con un menor coste.

De entre los 2 materiales es preferible usar fibra de carbono debido a su mayor resistencia mecánica, un elevado módulo de elasticidad y una baja densidad, por lo que hace que su peso sea bajo teniendo una alta resistencia. El refuerzo es un polímero sintético, es decir, un material termoestable, por lo que dificulta el proceso de fabricación siendo necesario un horno autoclave.

Aunque sea unos de los materiales adecuados para la fabricación de añadidos aerodinámicos en un vehículo, las directivas de homologación europeas imposibilita la implementación de estos debido a que es un material que se astilla fácilmente cuando se rompe, poniendo en peligro a cualquier peatón en caso de colisión, por lo que se descartan los "composites".

- En el extenso grupo de los polímeros se encuentra la mezcla de policarbonato (PC) y un poliéster termoplástico (PBT o PET), su composición suele variar entre el 50% y el 90% para conseguir las propiedades deseadas, y la utilización de polipropileno reforzado con fibra de vidrio. En este proyecto se centrará en la utilización de polipropileno reforzado con fibra de vidrio debido al mayor uso que se le da hoy en día en el mundo de la automoción.

Por lo tanto se dará una breve explicación del material, comentando sus propiedades y usos.

### **Polipropileno (PP)**

El polipropileno es un polímero termoplástico obtenido por la polimerización del propileno, un subproducto gaseoso obtenido de la refinación del petróleo. Es utilizado principalmente por los grandes fabricantes debido a:

- Una óptima relación costo/beneficio
- Ser un material muy versátil, ya que es compatible con la mayoría de técnicas de fabricación
- Su peso específico (0.9 g/cm<sup>3</sup>), lo que significa que se necesita una menor cantidad para la obtención del producto final

Como bien se ha dicho el PP es un material muy versátil por lo que puede ser transformado mediante muchos procesos. Los más utilizados son:

- Moldeo por inyección. Usado para la fabricación de parachoques de automóviles
- Moldeo por soplado. Usado para recipientes con huevos
- Extrusión de perfiles, láminas y tubos

Existen diferentes tipos de polipropileno:

- Polipropileno homopolímero (PPH)

Se obtiene del propileno puro obteniendo una temperatura de fusión de 168°C y una densidad de 0.9 g/cm<sup>3</sup>. Presenta una absorción de agua extremadamente baja, una óptima resistencia química.

Por lo que hace las propiedades mecánicas presenta:

Módulo elástico en tracción (GPa)	1.1 a 1.6
Alargamiento de rotura en tracción (%)	100 a 600
Carga de rotura en tracción (MPa)	31 a 42
Módulo de flexión (GPa)	1.19 a 1.75
Resistencia al impacto Charpy (kJ/m <sup>2</sup> )	4 a 20

Tabla 8 - Propiedades mecánicas del polipropileno homopolímero. Fuente: Vamptech-Iberica<sup>1</sup>

○ Polipropileno copolímero (PPC)

Se añade entre un 5 y un 30% de etileno en la polimerización, con lo que se obtiene un polipropileno con mayor resistencia al impacto, un alargamiento de rotura más elevado, la misma densidad que el homopolímero (0,9 g/cm<sup>3</sup>) pero con una temperatura de fusión variable según el contenido de etileno y las siguientes propiedades mecánicas.

Módulo elástico en tracción (GPa)	0.7 a 1.4
Alargamiento de rotura en tracción (%)	450 a 900
Carga de rotura en tracción (MPa)	28 a 38
Módulo de flexión (GPa)	0.42 a 1.40
Resistencia al impacto Charpy (kJ/m <sup>2</sup> )	9 a 40

Tabla 9 - Propiedades mecánicas del polipropileno copolímero. Fuente: Vamptech-Iberica<sup>2</sup>

Además se utiliza fibra de vidrio como refuerzo una vez fabricado, aumentando aún más su resistencia ofreciendo un producto ligero y resistente.

<sup>1</sup> Datos extraídos de: <http://www.vamptech-iberica.com/pp.php>

<sup>2</sup> Datos extraídos de: <http://www.vamptech-iberica.com/pp.php>

Por lo tanto para la fabricación de las piezas que se van a añadir en el coche se va a utilizar polipropileno copolímero, siendo un material resistente, ligero y con posibilidad de fabricarlo mediante inyección.

### *3.8.2. Material moldes*

Una vez elegido el material para las piezas y el proceso de fabricación, inyección, se debe decidir el material para los moldes.

Sabiendo que se va a utilizar el polipropileno como material de inyección existen varios materiales usados para mecanizar los moldes los cuáles deben cumplir unas exigencias muy estrictas e incompatibles la mayoría de las veces: extremadamente duro y muy resistente al desgaste, debido a que los materiales termoplásticos son altamente abrasivos, y a la corrosión, fácilmente mecanizable y con buena conductibilidad térmica para evacuar el calor.

Uno de ellos es el acero, utilizado desde hace mucho tiempo debido a su largo ciclo de vida y dureza, sobre todo para inyectar grandes series de piezas plásticas, en cambio, para series cortas donde es crucial la facilidad de mecanizado del molde, ya que no está sometido a un fuerte desgaste se han impuesto las aleaciones basadas en aluminio.

Pero el desarrollo de nuevas aleaciones basadas en aluminio se consigue un material que conserva las ventajas de este metal – facilidad de mecanizado, ligereza y elevada conductividad térmica- y, además, incrementa la dureza y duración del molde, poniéndolo al nivel de los moldes hechos de buenos aceros.

En el mercado existe una aleación basada en aluminio, conocida comercialmente como Certal, que permite un ahorro económico y de tiempo durante el proceso de mecanizado. También se debe tener en consideración el peso de estos, ya que por ejemplo, un molde de acero que pesaría 1000 kg se reduce a 357 kg si se hace en aluminio.

Por lo tanto, se deciden hacer los moldes en aluminio, en concreto de EN AW 7122 T6.

### *3.8.3. Material estructura metálica*

Dentro del extenso mundo de los metales se seleccionan dos familias, la de los aceros y la de los aluminios y sus respectivas aleaciones.

Las principales diferencias entre estos materiales está por ejemplo en la resistencia, el aluminio tiene menor resistencia lo que hace que la aplicación de esfuerzos sobre él sea más delicada que sobre el acero.

No obstante, el peso hace que el aluminio gane muchos puntos para su elección ya que hay una gran diferencia de densidades, en cambio el acero gana indudablemente en durabilidad.

Así que, aunque el acero pueda ser más durable y resistente se decidió elegir el aluminio para hacer la estructura.

Una vez elegido el aluminio se debe filtrar la numerosas aleaciones de aluminio, por lo que se necesitará un aluminio soldable y resistente. Dentro de los aluminios existe el Zircal o AL 7075, que ofrece muy buena resistencia a la fatiga y es fácil de mecanizar pero como inconveniente no es soldable por lo que se descarta esta aleación de aluminio, y se busca otra aleación que satisfaga las necesidades establecidas.

Dentro de todas las familias de los aluminios se encuentra la familia de 6xxx, que son las aleaciones más encontradas en trabajos estructurales. Son relativamente resistentes con una buena resistencia a la corrosión y además son soldables. Dentro de estos se encuentra el aluminio 6061, que si se suelda con material de aportación puede reducirse la sensibilidad a la fisuración.

Por lo que será el material que se elegirá para construir la estructura metálica.

## 3.9. Diseño de las piezas

Una vez estudiadas las geometrías que ayudarán a mejorar la aerodinámica del vehículo y sabiendo los materiales que se van a emplear, se procede al diseño específico de las piezas para hacer posible su instalación en cualquier Volkswagen Golf MK1.

Primero de todo se deben estudiar los diferentes anclajes y geometrías del vehículo real. Para poderlo hacer se visitaron varios vehículos de los cuales se echaron fotografías con el fin de estudiar el vehículo y poder exponerlas en el proyecto.

Por lo tanto se procede al diseño de los añadidos aerodinámicos.

### 3.9.1. Parachoques delantero

Para el diseño del parachoques delantero del vehículo primero de todo se ha analizado la geometría de este para conseguir la forma más adecuada y parecida a la geometría conseguida en las pruebas aerodinámicas.

Así que primero de todo se ha diseñado la forma principal del parachoques obteniendo la siguiente superficie.

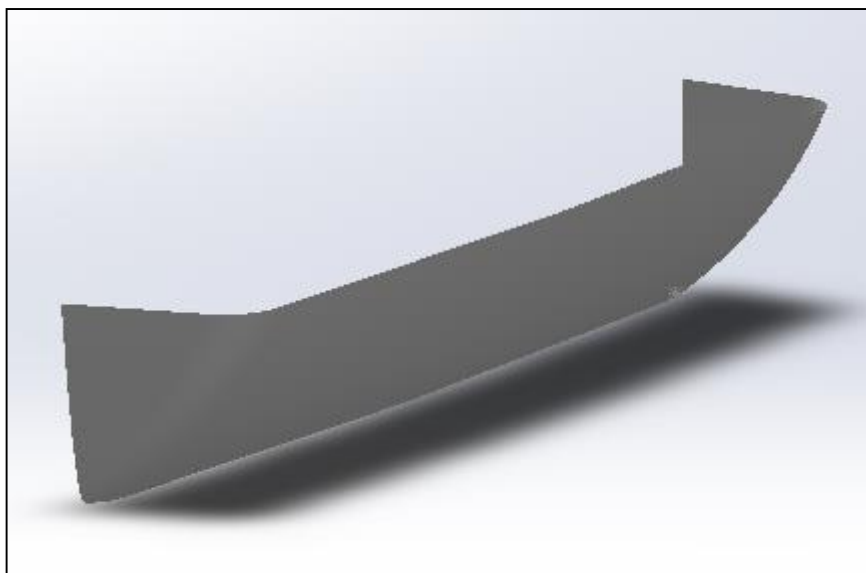
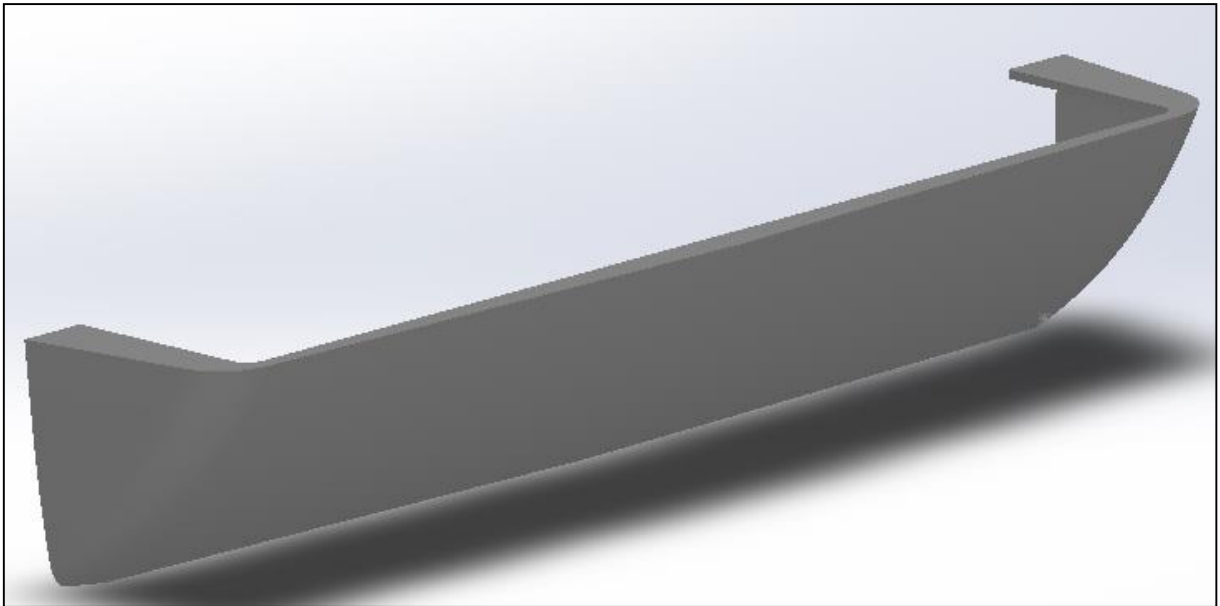


Figura 52 – Superficie parachoques. Fuente: CAD Parachoques coche

Una vez obtenida la superficie se colocan soportes laterales para que pueda apoyar correctamente con el chasis del vehículo y además permita el ensanche del vehículo evitando las turbulencias y a continuación se le da un espesor de 5mm.



*Figura 53 – Espesor parachoques delantero. Fuente: CAD Parachoques delantero*

A continuación se aplicaran dos taladros para poder situar unas luces antiniebla, además también se le suministrará de una entrada central que se podrá usar, según el usuario, como decorativa o para aprovechar la entrada de aire y se añadirán redondeos en todas las aristas que puedan ser un problema para la seguridad vial, según las normativas europeas.



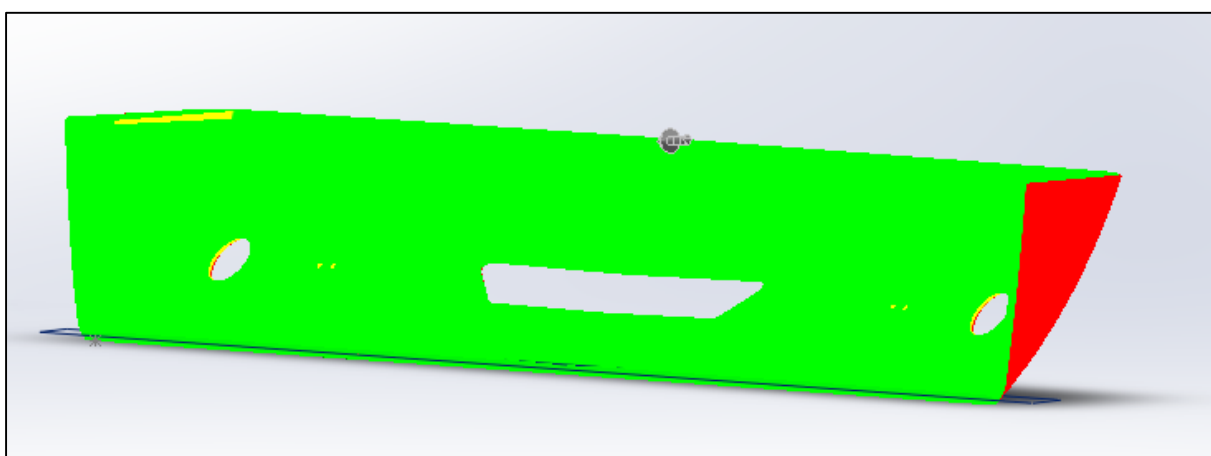
*Figura 54 Parachoques delantero Fuente: CAD Parachoques delantero*

Observando las fotografías reales se puede observar que tiene un anclaje en la parte interior que aguanta el guardabarros original, por lo tanto se harán dos taladros más para poder atornillar el parachoques delantero al chasis del coche. También se añaden taladros de apoyo y anclaje para evitar que el parachoques vibre y se pueda romper.

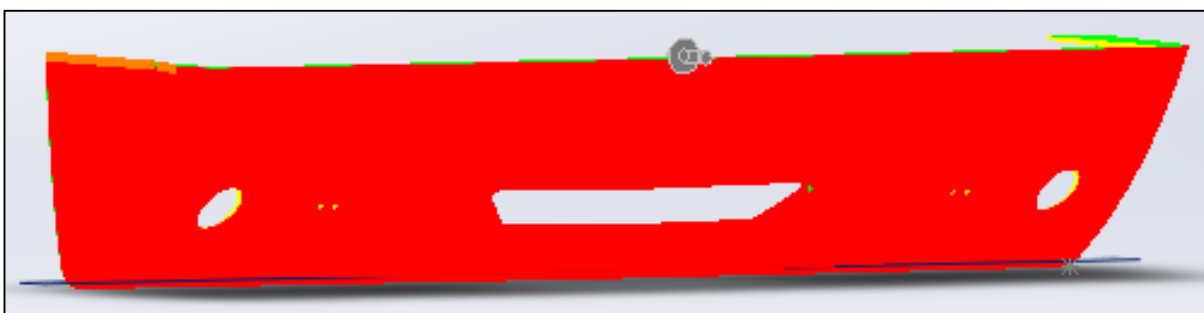


### **Ángulos de desmoldeo**

Una vez llegado al diseño que se amolda bien, se debe hacer un estudio para ver que realmente se cumplen los ángulos de desmoldeo. Para hacerlo se usará SOLIDWORKS, ya que se debe aplicar cierto ángulo para así facilitar el desmoldeo de la pieza. Por lo tanto, todas las aristas que puedan dificultar el desmoldeo se modificaran incluyendo ciertos ángulos de desmoldeo hasta realizar un análisis y comprobar que se cumplen los requisitos. En esta pieza se aplicará un ángulo de desmoldeo de  $0.5^\circ$ , ya que estamos hablando de piezas con una dimensión considerable, y así se evita grandes deformaciones en la pieza.



*Figura 55 - Ángulos de desmoldeo positivos. Fuente: CAD Parachoques delantero*



*Figura 56- Ángulos de desmoldeo negativos. Fuente: CAD Parachoques delantero*

Como se puede ver en las imágenes anteriores se cumplen todos los ángulos de desmoldeo, por lo que posibilita su fabricación.

## **Fijación**

Para llevar a cabo el anclaje de la pieza a la carrocería del coche se usaran elementos constructivos de la misma carrocería, asimismo se diseñará una estructura de aluminio (pág. ....) para dar un resistencia extra y evitar vibraciones que puedan ocasionar problemas a lo largo del tiempo.



*Figura 57 – Elementos de anclaje. Fuente: Fotografía tomada a un MK1 real.*

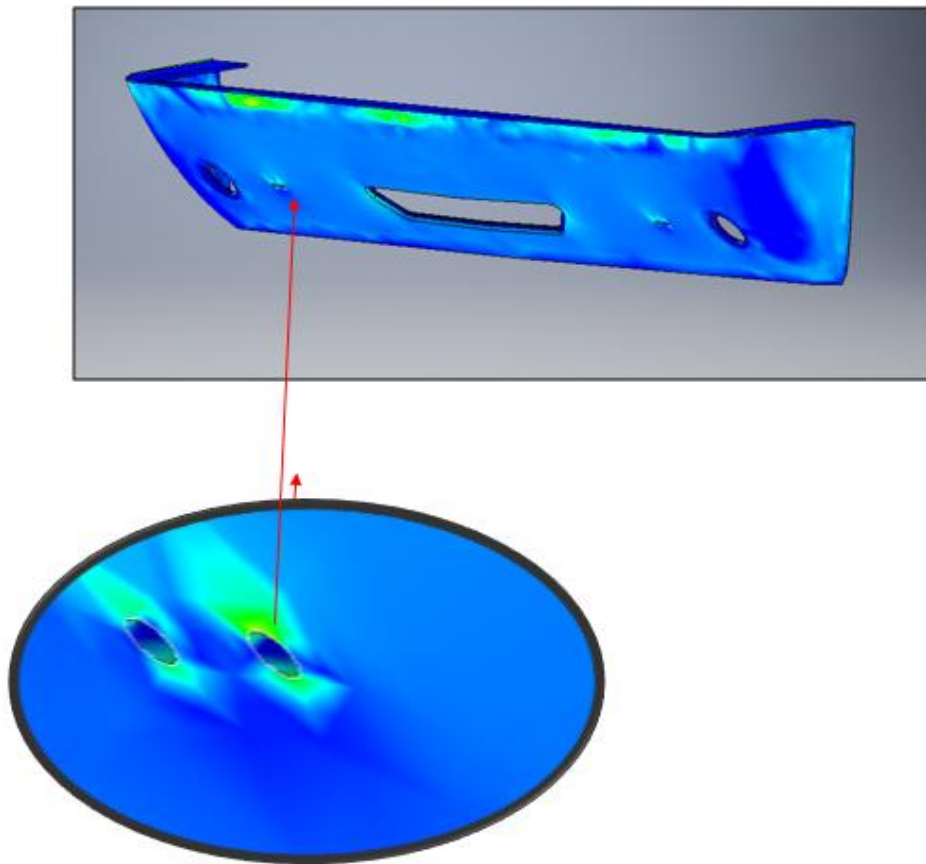
En la figura anterior se puede observar unos de los elementos de anclaje de un Volkswagen Golf MK1 real, que se usará como principal anclaje del parachoques delantero.

Además, como se ha dicho anteriormente, se anclará a la estructura de aluminio para así evitar las vibraciones con el flujo de aire.

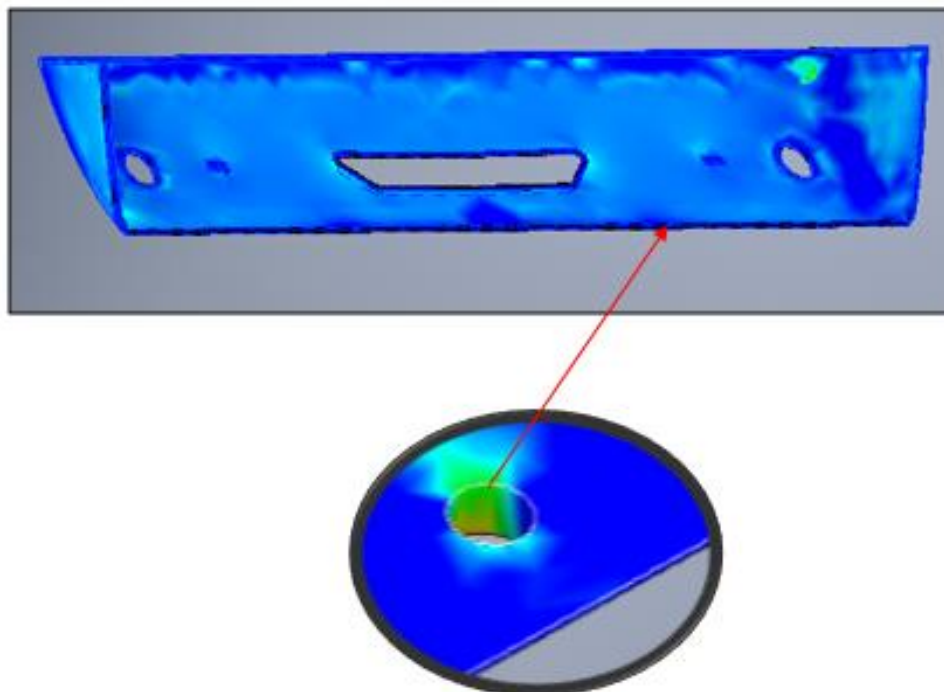
## **Análisis de tensión**

Una vez decidido los anclajes de esta pieza se realizará un análisis de tensión para asegurarnos que el espesor y los anclajes elegidos son los correctos y que la pieza no se verá sometida a grandes esfuerzos debido a la presión de aire, simulada anteriormente.

Para realizar el análisis de tensiones se ha usado el software llamado Autodesk Inventor.



*Figura 58 – Análisis de tensión 1. Fuente: Análisis de tensión parachoques delantero*



*Figura 59 –Análisis de tensión 2. Fuente: Análisis de tensión parachoques delantero*

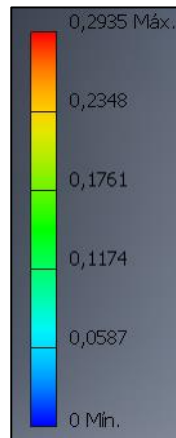


Figura 60 –Leyenda tensiones (MPa). Fuente: : Análisis de tensión parachoques delantero

En las figuras anteriores se puede ver como las tensiones que recibe el parachoques delantero con la combinación de anclajes y espesores es casi despreciable por lo que podemos dar por bueno el diseño y anclajes de esta pieza.

### 3.9.2. Guardabarros delantero

El diseño del guardabarros delantero se hizo teniendo en cuenta las geometrías analizadas en las mejoras aerodinámicas explicadas anteriormente.

Había dos posibles opciones, la primera era hacer el diseño de solo la parte inferior del guardabarros, teniendo que agujerear la parte lateral para anclarlo o diseñar la parte lateral unificada aprovechando los anclajes propios del automóvil y facilitando así su montaje.

Por lo que se empezó el diseño con el guardabarros, siguiendo la geometría escogida en las simulaciones aerodinámicas.

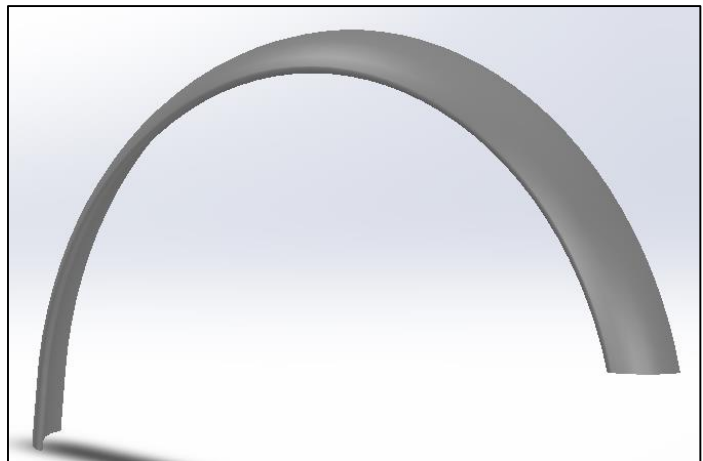
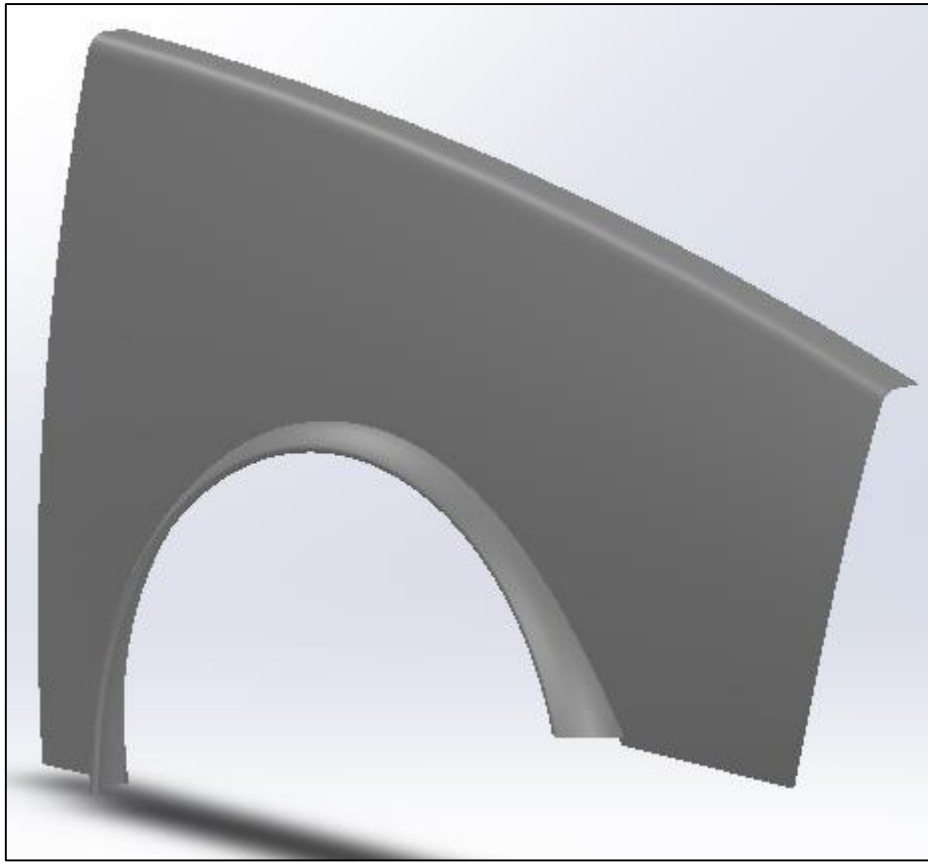
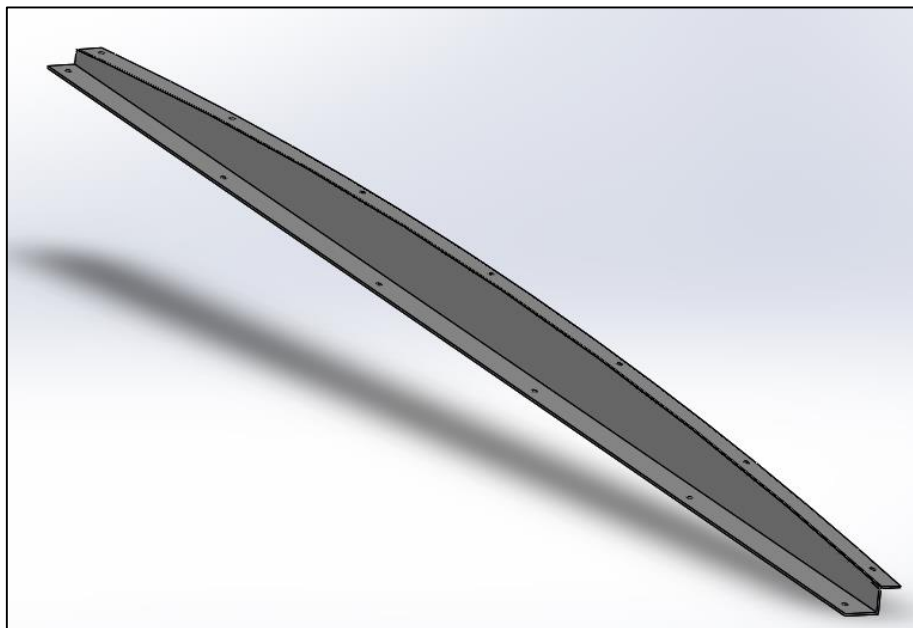


Figura 61-Guardabarros. Fuente: CAD guardabarros delantero

A continuación siguiendo las curvaturas del automóvil se diseñó la parte lateral que irá anclada a la carrocería del vehículo mediante un soporte metálico.



*Figura 62 –Guardabarros con la parte lateral. Fuente: CAD guardabarros delantero*

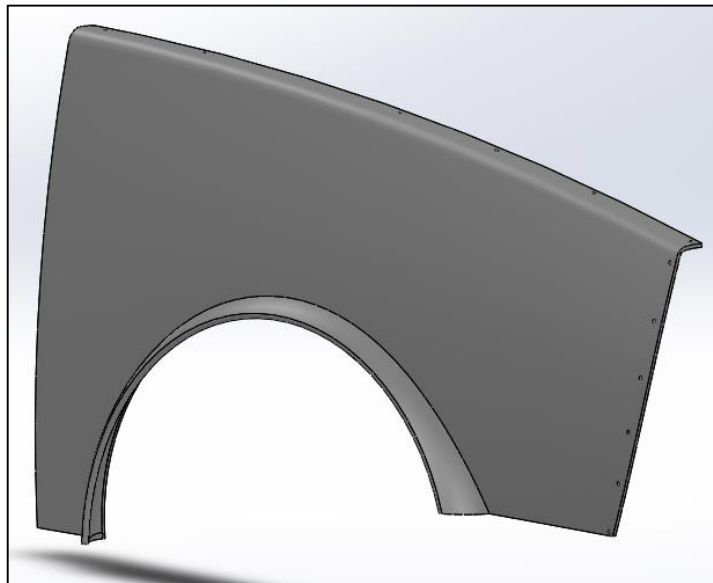


*Figura 63- Soporte anclaje guardabarros delantero. Fuente: CAD soporte guardabarros delantero.*

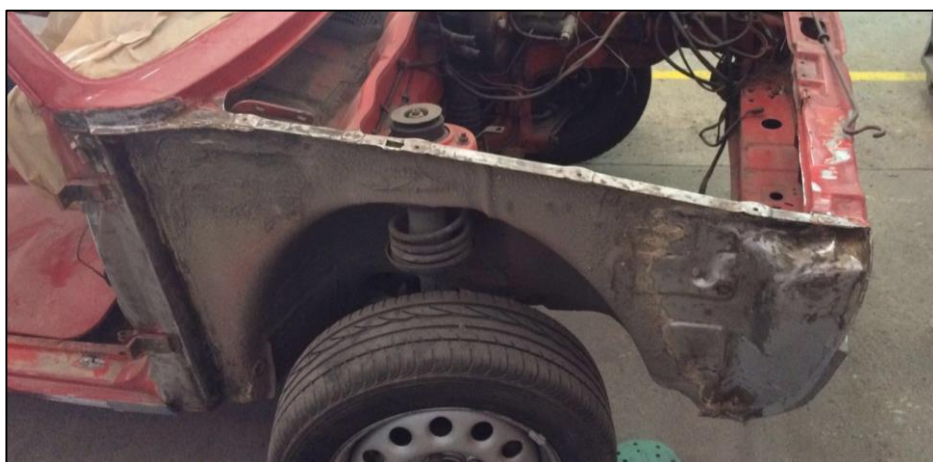
## **Fijación**

La fijación del guardabarros con el soporte se recomienda hacerlo con remaches de 4.8 de diámetro fabricados por *EMHART TEKNOLOGIES*<sup>3</sup> especialmente el Vgrip de ala ancha que soporta 1900N en tracción y 1200N en cizalladura, por lo que cumple los requisitos marcados por la presión del flujo de aire.

Además para asegurar la fijación del guardabarros a la carrocería del coche se han hecho unos taladros para fijarlo directamente a la carrocería en los agujeros del chasis, como se puede ver en la Figura 57.



*Figura 64 –Guardabarros con taladros de fijación.  
Fuente: CAD guardabarros delantero*

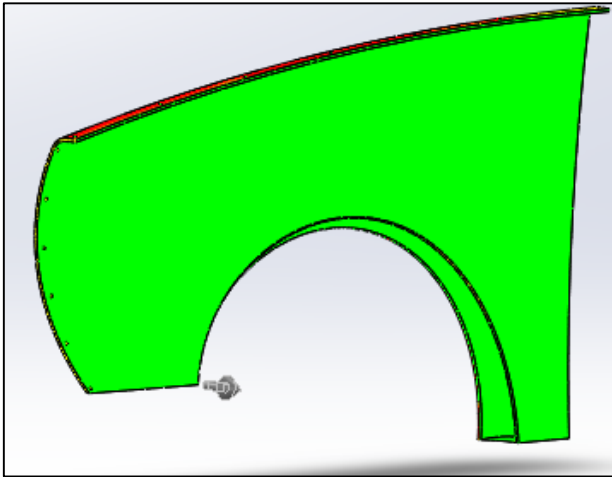


*Figura 65 – Agujeros fijación chasis Golf MK1. Fuente: Fotografía tomada a un MK1 real.*

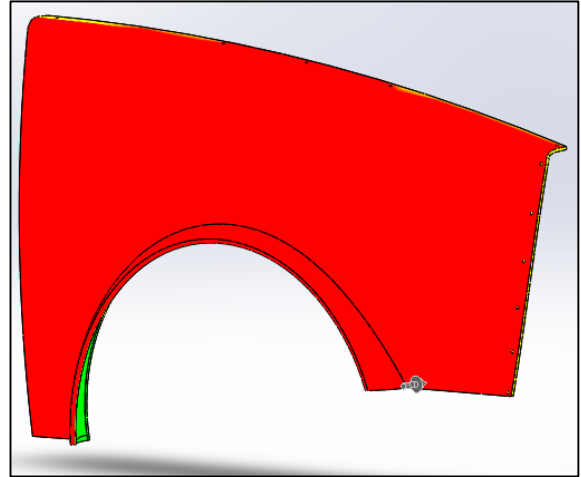
<sup>3</sup> EMHART TEKNOLOGIES, especialistas en elementos de fijación:  
<http://www.emhart.eu/eu-en/index.php>

### **Ángulos de desmoldeo**

Para asegurar su buen desmoldeo se tuvo que tener en cuenta los ángulos de salida, así que se realizó un análisis de la pieza aplicando un ángulo de  $10^\circ$ , suficiente para poder realizar el desmoldeo.



*Figura 66 –Ángulos de desmoldeo positivos.  
Fuente: CAD guardabarros delantero*

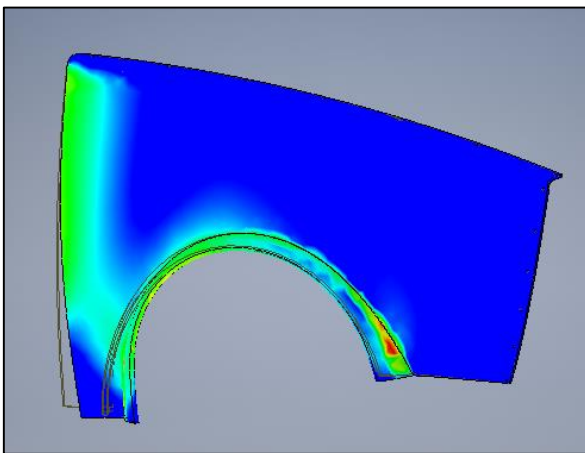


*Figura 67 –Ángulos de salida negativos.  
Fuente: CAD guardabarros delantero*

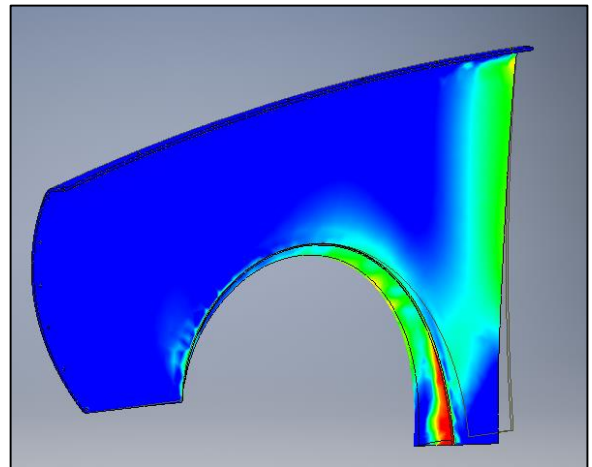
Como se puede comprobar cumplen con los requisitos y se asegura su buen desmoldeo.

### **Análisis de tensiones**

A continuación se realizará el análisis de tensiones para verificar que todos los parámetros de la pieza son los correctos y asegurar su durabilidad.



*Figura 69 –Análisis de tensión 1. Fuente:  
Análisis de tensión guardabarros delantero*



*Figura 68 –Análisis de tensión 2. Fuente: Análisis  
de tensión guardabarros delantero*



Haciendo la comparativa de tensiones con los valores que se pueden ver en la figura 61 y las propiedades mecánicas del polipropileno copolímero (pág. 58), se puede concluir que, todo y haber posibles puntos críticos como se puede observar en las figuras 59 y 60, la pieza no sufrirá tensiones que lo puedan llevar a romper, ya que la presión máxima que va a recibir será de 4 MPa en momentos esporádicos, por lo que se aprueba el diseño, espesores y fijación de esta pieza.

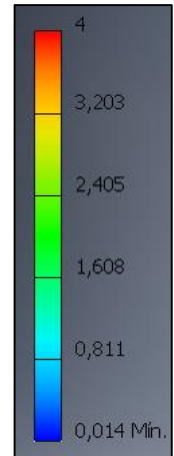


Figura 70-Leyenda tensiones (MPa)

### 3.9.3. Faldón lateral

Para el diseño del faldón lateral simplemente se ha intentado elegir una forma que siga la ergonomía del vehículo, que cumpla con los requisitos aerodinámicos, las normativas europeas y además que sea una pieza relativamente económica.

Primero de todo, se escogieron los límites de la pieza, es decir, que dimensiones debería tener para satisfacer una forma plana respecto al parachoques delantero y trasero.

Así que se hizo un primer diseño, para ver que realmente satisfacía las necesidades.

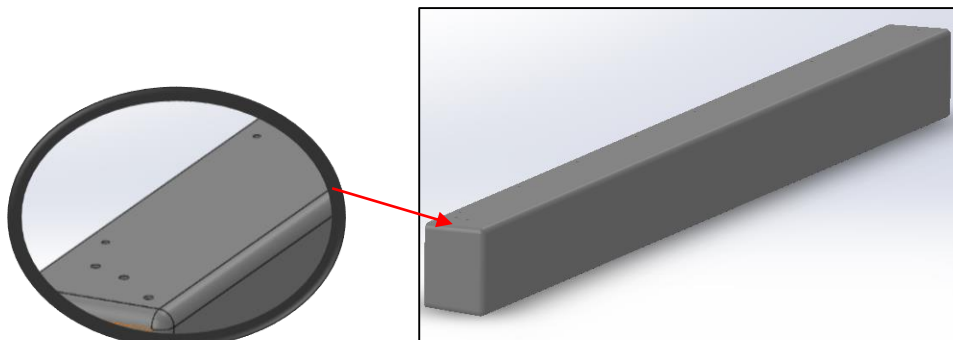


Figura 71 -Faldón lateral. Fuente: CAD faldón lateral

Como se puede ver en el diseño se incluyeron unos taladros donde encajar el guardabarros delantero.



Una vez hecho el diseño principal con las dimensiones requeridas se pasa a estudiar y diseñar los elementos necesarios para la fijación del faldón lateral con la carrocería.

### **Ángulo de desmoldeo**

Como en las anteriores piezas también se ha realizado un análisis de los ángulos de salida para asegurar que el proceso de desmoldeo se puede realizar sin ningún inconveniente.

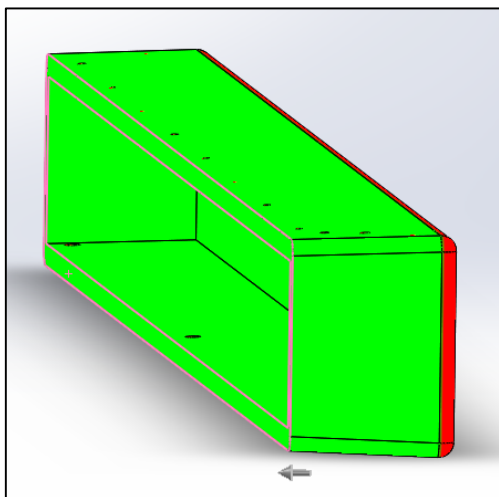


Figura 73- Ángulos de salida negativos. Fuente: CAD faldón lateral

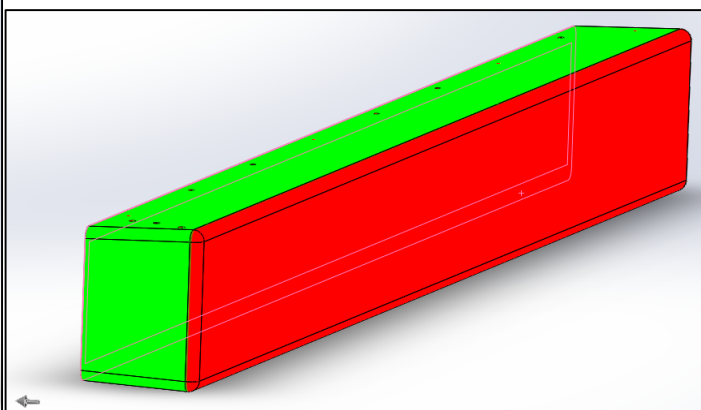


Figura 72 – Ángulos de salida negativos. Fuente: CAD faldón lateral

A esta pieza se le ha dotado de un ángulo de salida de  $1.5^\circ$  en la dirección de desmoldeo marcada en las anteriores figuras, con lo que se puede asegurar que no habrá dificultades en el proceso de desmoldeo.

### **Fijación**

Para hacer posible la fijación del faldón con la carrocería, se ha diseñado un soporte metálico que irá remachado en el faldón y en la carrocería.

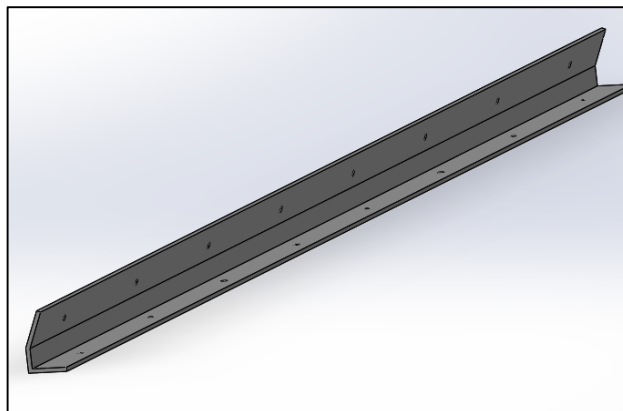


Figura 74- Soporte faldón lateral. Fuente: CAD soporte faldón.

Además, se han incluido unos agujeros en el faldón para poder fijarlo en la estructura metálica diseñada (pág.92) y así dar una resistencia extra a la pieza, también se ha diseñado unas chapas de manera que la fijación entre el faldón y la estructura metálica sea fácil y accesible.

La fijación del soporte con el faldón se realizará con los remaches mencionados anteriormente, mientras que la fijación estructura-chapa-faldón se realizará con tornillería M10 con dureza de 12.9.

Para fijar el soporte a la carrocería se aprovecharan unos agujeros ya hechos en el vehículo real, donde se fija un embellecedor lateral. Así no se deberán hacer agujeros en el chasis evitando perturbar a la resistencia de este.

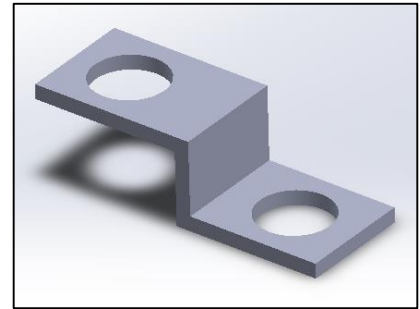


Figura 75- Chapa fijación.  
Fuente: CAD Chapa anclaje



Figura 76 – Agujeros lateral. Fuente: Fotografía tomada de un Volkswagen Golf MK1

### **Análisis de tensiones**

Para realizar el análisis de tensiones de esta pieza se deberá tener en cuenta la presión lateral que pueda aparecer. Así que, sabiendo los anclajes, espesores y dimensiones de la pieza incluyen los resultados obtenidos en los análisis.

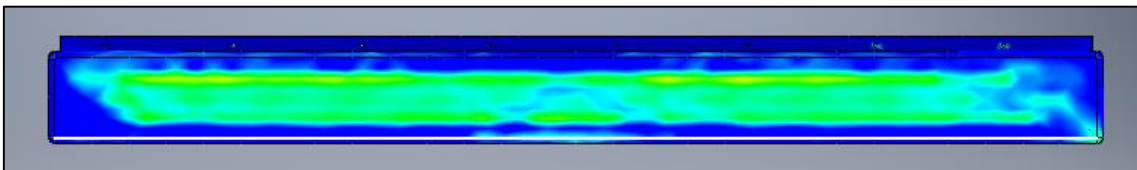


Figura 77- Análisis de tensión 1. Fuente: Análisis de tensión faldón lateral.

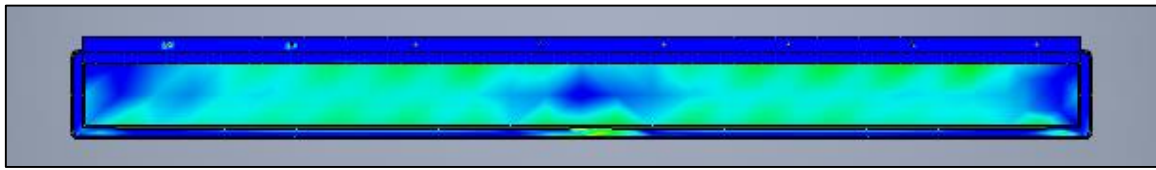


Figura 78 - Análisis de tensión 1. Fuente: Análisis de tensión faldón lateral.

Tal y como se puede comprobar en las figuras anteriores los valores no son críticos a lo que hace a las especificaciones del material, ya que los resultados oscilan entre 1.2 y 2 MPa. Se puede concluir que los anclajes y espesores serán los correctos.

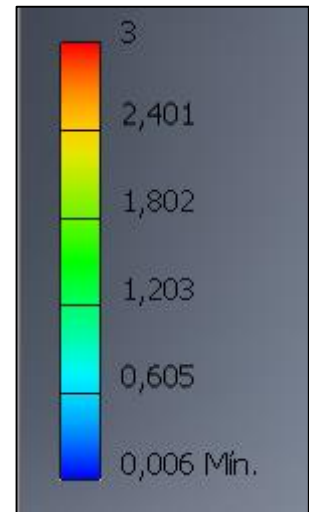


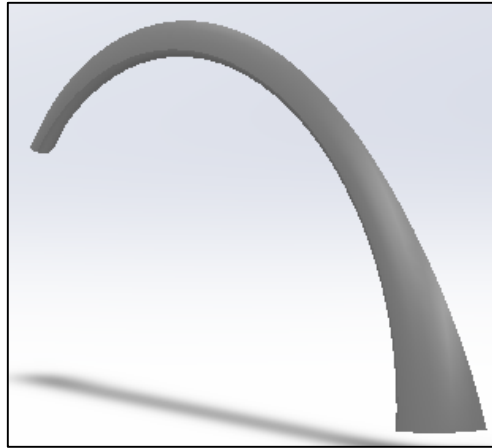
Figura 79 - Leyenda tensiones (MPa)

#### 3.9.4. Guardabarros trasero

Para el diseño de esta pieza se ha llevado un procedimiento parecido al guardabarros delantero, lo único que debido al chasis del vehículo no se puede crear toda la pieza lateral, así que solo se diseñará la parte inferior del guardabarros que irá sujeta directamente al chasis del vehículo.

Para empezar el diseño, al igual que en las demás piezas, se usará como guía las geometrías establecidas en el modelo del análisis aerodinámico, y además se seguirán los límites marcados por el faldón lateral y el parachoques trasero del vehículo.

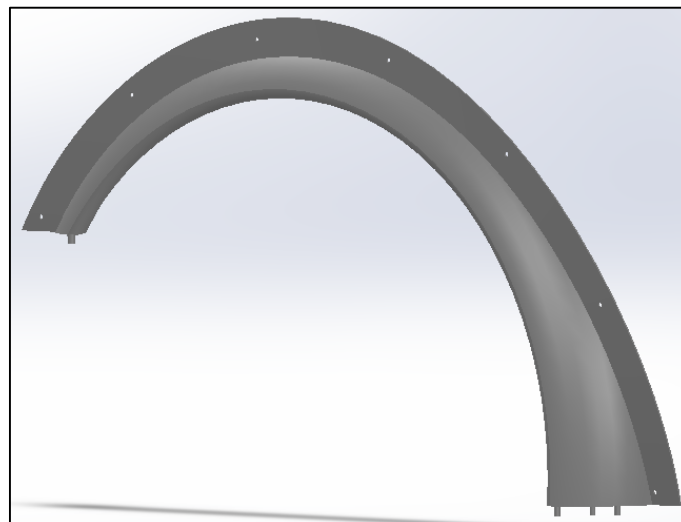
Así como primer esbozo se obtiene la siguiente geometría donde se definen los límites establecidos por el conjunto de piezas mencionadas con anterioridad.



*Figura 80-Límites guardabarros trasero.  
Fuente: CAD guardabarros trasero.*

A continuación se diseñó la aleta con la que se fijara el guardabarros a la carrocería del vehículo y marcar las posiciones que irán insertadas en el faldón lateral para usarlo como guía para la fijación de este.

Por último se harán los agujeros necesarios para asegurar que el guardabarros queda bien fijado a la carrocería. Cabe decir que si el usuario lo cree necesario es posible utilizar masilla para disimular y/o eliminar la junta de fijación, consiguiendo una superficie más uniforme.

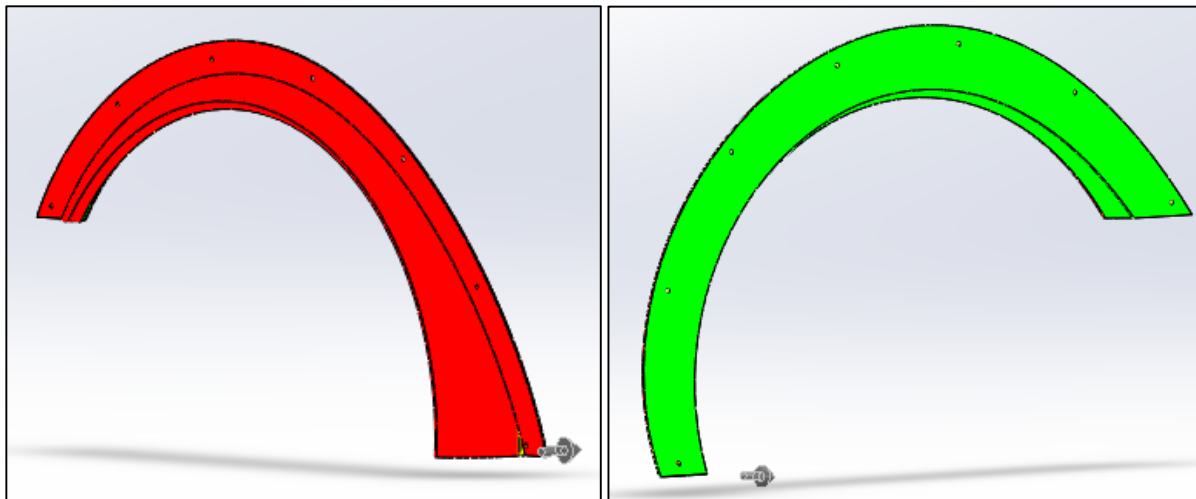


*Figura 81 -Guardabarros trasero. Fuente: CAD guardabarros trasero*

### **Análisis ángulos de desmoldeo**

Para realizar el análisis de los ángulos de salida de esta pieza se deben eliminar los salientes que van insertados en el parachoques trasero y el faldón lateral ya que si no se eliminaran imposibilitaría el desmoldeo de la pieza.

Una vez eliminados se analiza obteniendo los siguientes resultados:



*Figura 82-Ángulos de salida negativos. Fuente: CAD guardabarros trasero* *Figura 83-Ángulos de salida positivos. Fuente: CAD guardabarros trasero*

Se ha usado 1° como ángulo de desmoldeo siguiendo la dirección marcada en las figura 73 y 74.

### **Fijación**

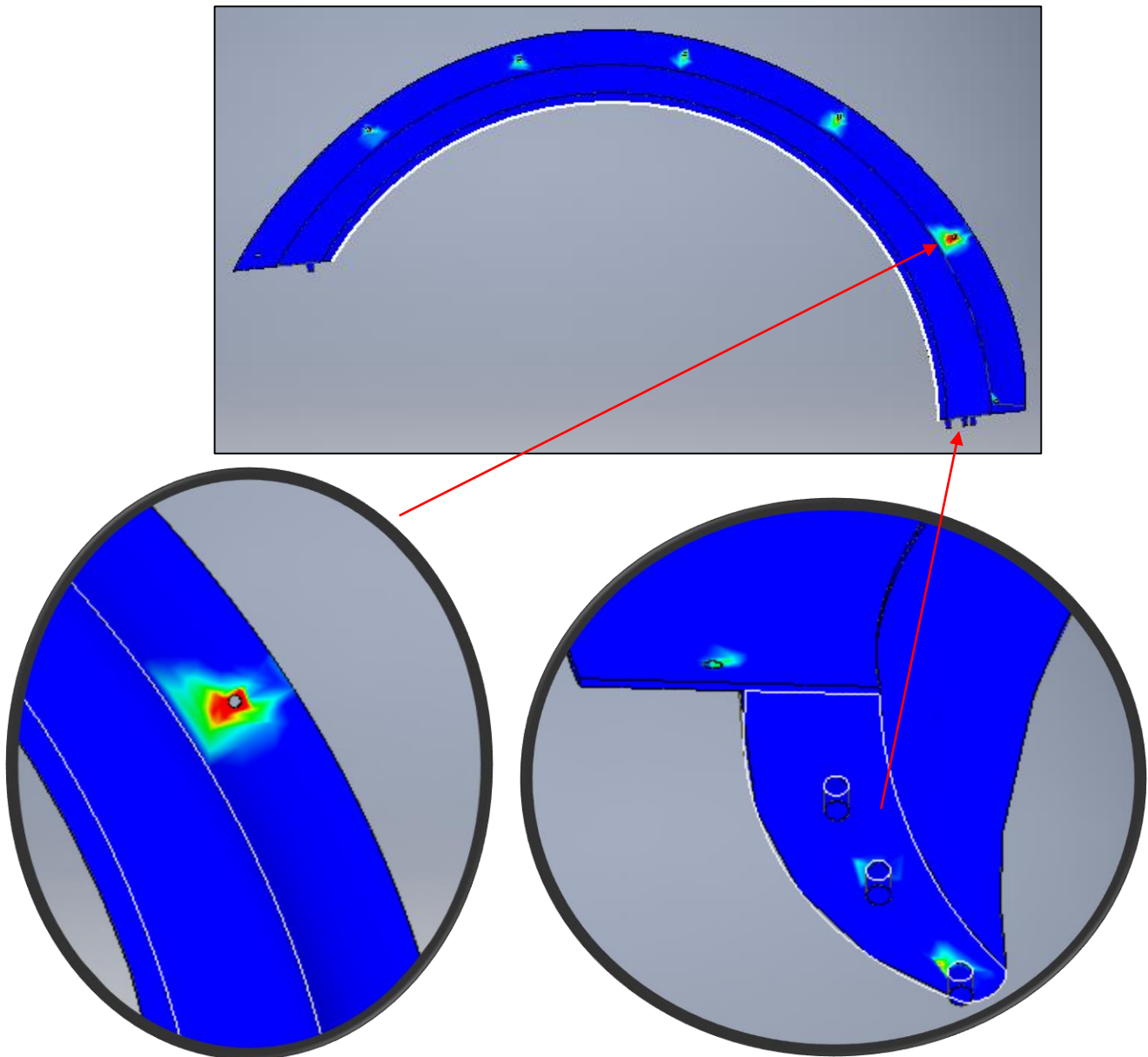
Para fijar el guardabarros trasero simplemente se requieren siete remaches como los mencionados en la página 67.

Con esto y los salientes que se insertan en las otras piezas se conseguirá el correcto anclaje de la pieza.

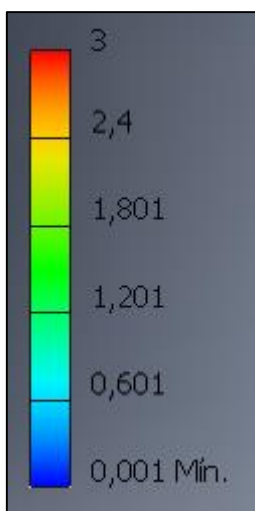
Como se ha dicho anteriormente también cabe la posibilidad de implementar masilla en las esquinas, que además de tapar la junta de anclaje, mejorando la parte estética, dará una resistencia extra al conjunto.

### **Análisis de tensiones**

Como se ha hecho con las piezas anteriores, se va a realizar un análisis de tensiones para verificar que los anclajes y el diseño de la pieza aguantan los esfuerzos requeridos.



*Figura 84 –Análisis de tension . Fuente: Análisis de guardabarro trasero*



En el análisis realizado se puede ver que en uno de los agujeros de fijación hay un punto crítico el cuál podría traer alguna problemática a lo largo del tiempo, todo y que la tensión no es elevada (3 MPa), se recomienda añadir una chapa o algún refuerzo donde nos dé una resistencia extra. A parte del punto mencionado se puede verificar que la pieza aguantará sin problemas, ya que las tensiones no son elevadas y se mantienen bastante en el rango trabajado hasta ahora.

Figura 85-Leyenda tensiones (MPa)

### 3.9.5. Parachoques trasero

Para llevar a cabo el diseño del parachoques trasero se ha seguido un proceso similar al parachoques delantero.

Primero de todo se ha establecido una superficie lo más similar posible a la geometría desarrollada en el análisis aerodinámico.

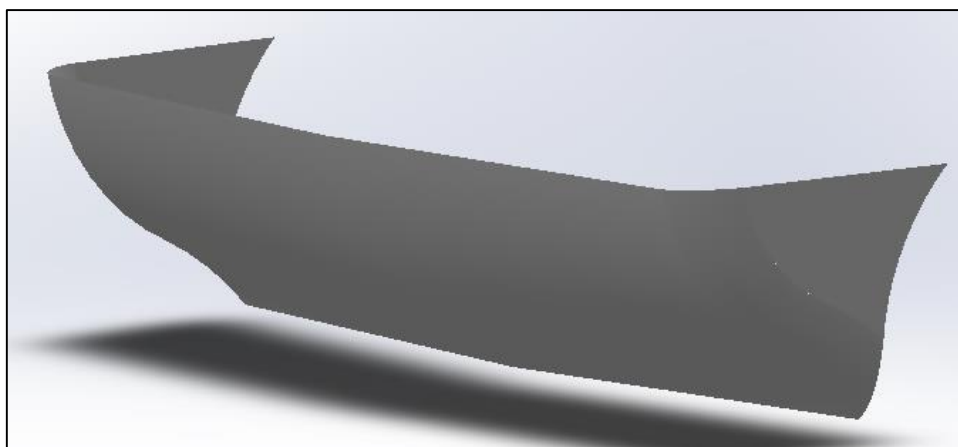


Figura 86-Parachoques trasero. Fuente: CAD parachoques trasero.

Una vez obtenida la superficie adecuada se debe dar espesor y colocar los apoyos para los guardabarros traseros.

Es importante no olvidar de hacer un par de cavidades donde se pueda sacar el tubo de la salida de humos de escape, y además en gancho de seguridad y además de dar la geometría adecuada para enganchar el difusor trasero.

Una vez cumplido todos los requisitos necesarios se obtiene la pieza final expuesta a continuación.

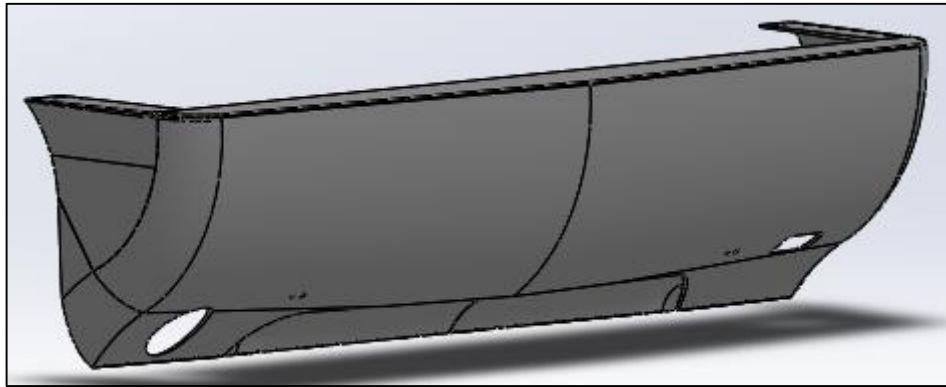


Figura 87- Parachoques trasero completo. Fuente: CAD parachoques trasero

### **Análisis ángulos de desmoldeo**

Para llevar a cabo el análisis de los ángulos de desmoldeo se ha usado  $0.5^\circ$  ya que, como en el parachoques delantero, son piezas de grandes dimensiones lo cuál hace que un ángulo muy pequeño pueda crear deformaciones en las superficies muy grandes.

Así que se decidió dar un ángulo de desmoldeo pequeño y efectivo para que se pueda llevar a cabo el proceso de desmoldeo como se puede mostrar en las siguientes imágenes.

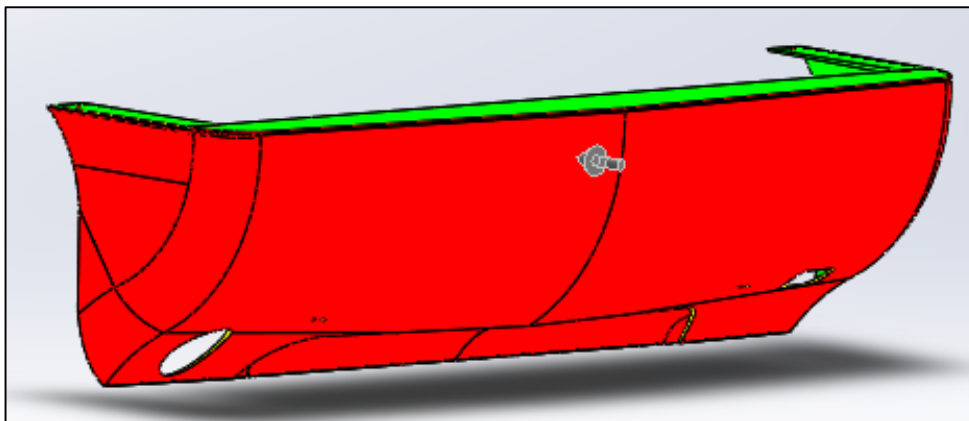


Figura 88- Ángulos de salida negativos. Fuente: CAD parachoques trasero



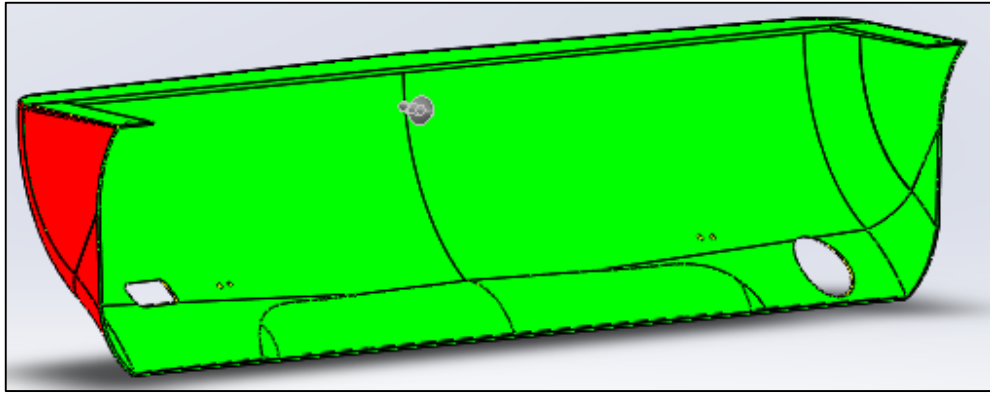


Figura 89- Ángulos de salida negativos. Fuente: CAD parachoques trasero

### **Fijación**

La fijación también es parecida a la del parachoques delantero, ya que en la parte trasera consta de las mismas zonas de anclaje, donde además se ha dotado de un par de agujeros que se anclaran en la estructura metálica de debajo el vehículo.

Como se puede ver en la siguiente imagen, se usará los apoyos del parachoques trasero del automóvil de serie para efectuar la fijación del nuevo parachoques.



Figura 90-Apoyo parachoques trasero. Fuente: Fotografía tomada de un Golf MK1 real.

### **Análisis de tensiones**

Aunque en esta pieza no es muy importante el análisis de tensiones debido a que la demanda de presión será muy baja, se ha simulado el análisis para así poder ver que realmente no presenta ningún problema.

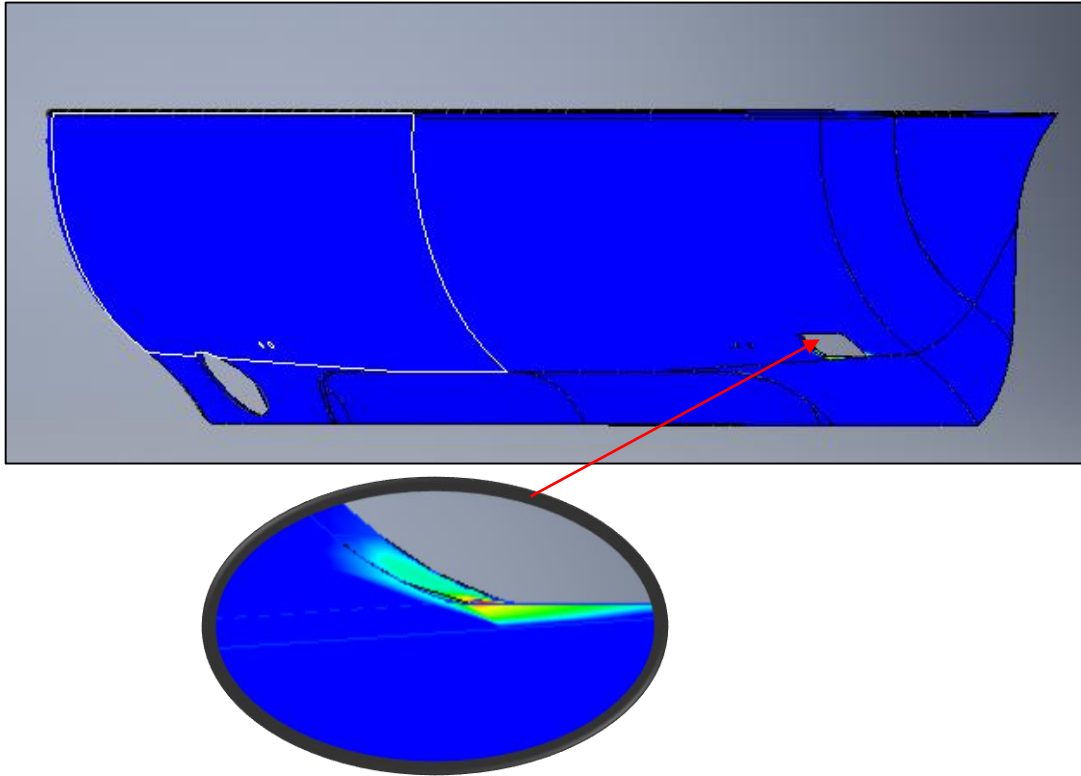


Figura 91 –Análisis de tensiones. Fuente: Análisis de tensiones del parachoques trasero

Como se puede ver y tal y como se han comentado las tensiones que recibe el parachoques trasero son totalmente despreciables, esto es debido a que el flujo de aire no impacta directamente con la pieza.

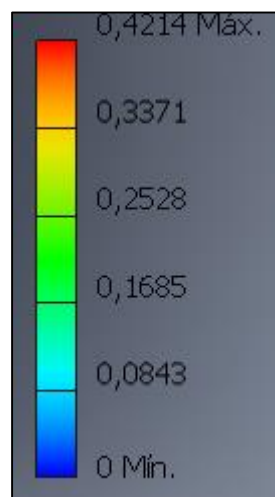


Figura 92-Leyenda tensiones. (MPa)Fuente: Análisis de tensiones del parachoques trasero

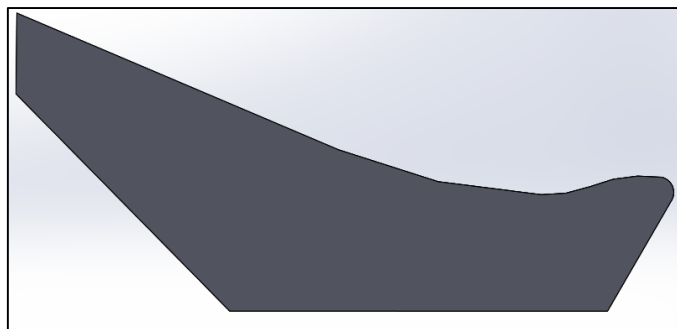
### 3.9.6. Alerón

El diseño del alerón ha sido un poco más complejo, debido a su gran importancia y juego en los coeficientes de arrastre y sustentación.

Se ha tenido que encontrar un compromiso para que a la vez que reduzca notablemente la sustentación del vehículo no empeore demasiado el arrastre del mismo, ya que un alerón mal diseñado puede tener consecuencias desastrosas en el comportamiento del vehículo. Además, también se tiene que tener en cuenta la disminución de las turbulencias, ya que un ángulo de ataque muy prolongado puede provocar turbulencias no deseadas.

Así que para el diseño del alerón primero de todo se debe centrar en el diseño del perfil, encontrado la estrecha relación mencionada anteriormente.

Después de varias pruebas y ensayos se encontró el perfil indicado para un óptimo diseño.



*Figura 93- Perfil alerón. Fuente: CAD alerón*

Una vez hallado el perfil ideal el diseño del alerón se centra en la sujeción de este con la carrocería del coche.

Para hacerlo se utilizaron como guía las fotografías tomadas de un Volkswagen Golf MK1, tal que quede lo más acoplado posible a la carrocería.



Figura 94-Geometría portón trasero. Fuente: Fotografía tomada de un Golf MK1 real

Por lo que se obtiene el resultado final para el diseño del alerón trasero.

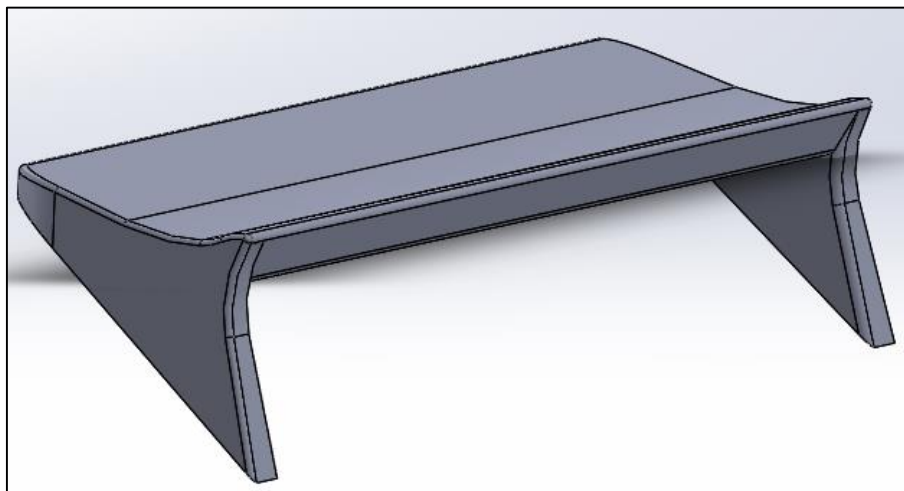


Figura 95- Alerón. Fuente: CAD alerón

### **Ángulos de desmoldeo**

Debido a la compleja geometría de la pieza fue difícil encontrar la forma de que fuera posible el proceso de desmoldeo sin tener dificultades, pero finalmente se encontró la geometría adecuada para hacer posible este proceso.

Por lo que se efectuó el análisis de los ángulos de salida obteniendo los siguientes resultados.

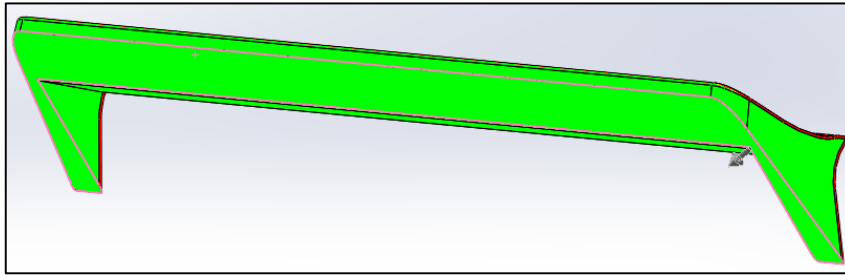


Figura 96- Ángulos de salida positivos. Fuente: CAD alerón

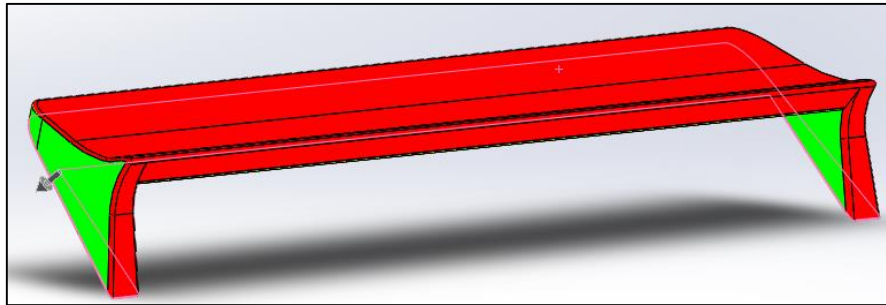


Figura 97 – Ángulos de salida negativos. Fuente: CAD alerón

### **Fijación**

Para anclar el alerón a la carrocería del vehículo se deberá de hacer varios agujeros en esta, ya que se fijaran mediante tornillería de M6 X 1.0.

Así que se diseñaron unos casquillos para permitir roscar los tornillos en el alerón. Estos casquillos se introducirán en el agujero hecho en el alerón con masilla de poliuretano para asegurar su sujeción en el alerón.

Una vez realizado todos los procesos anteriores el alerón se fijará des de la parte interior del vehículo.

### **Análisis de tensiones**

Para el análisis de tensiones se han tenido en cuenta la fijación del alerón mediante los casquillos mencionados anteriormente y además, la presión ejercida por el aire a una velocidad de 150 km/h.

Con lo que efectuamos el análisis obteniendo los siguientes resultados.

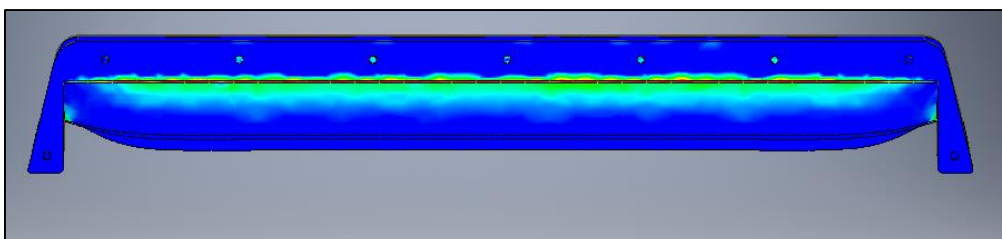
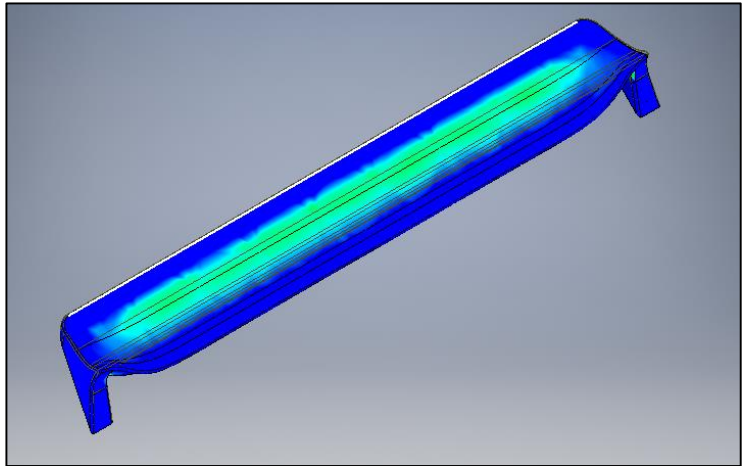


Figura 98- Análisis de tensión. Fuente: Análisis de tensión alerón

Con la simulación de esfuerzos obtenida se puede verificar y asegurar que el método de anclaje es el correcto. Además de la morfología escogida para esta pieza.

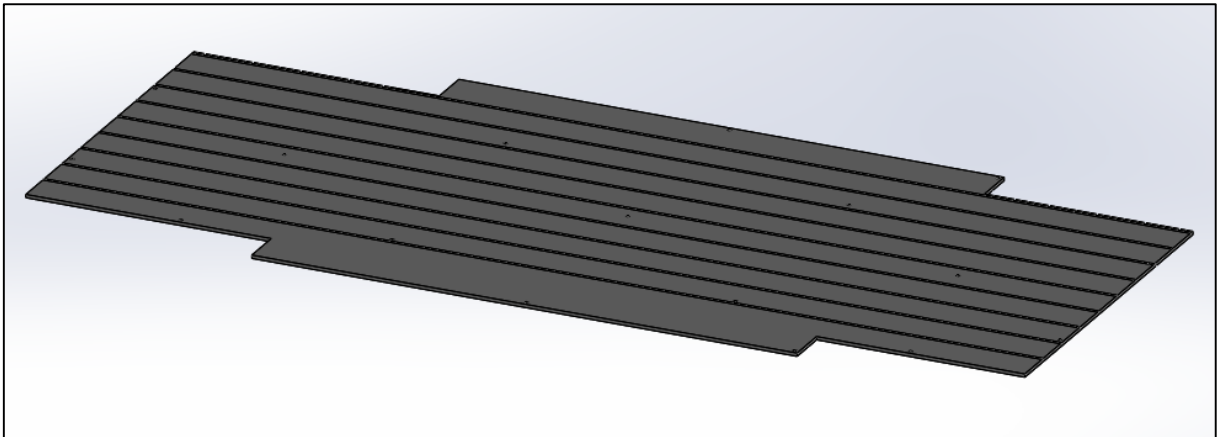


*Figura 99- Análisis de tensión. Fuente: Análisis de tensión alerón.*

### *3.9.7. Fondo plano*

Para el diseño del suelo se ha tenido en cuenta la geometría inferior de coche, para poder recubrir la mayor superficie posible. Además de satisfacer la superficie con un espesor generoso de manera que no se deforme fácilmente. No obstante, se ha asegurado de que esta pieza no se deforme mediante la estructura metálica explicada a continuación.

Por último, se han añadido los canales explicados anteriormente, para así poder controlar el flujo a lo largo del suelo.

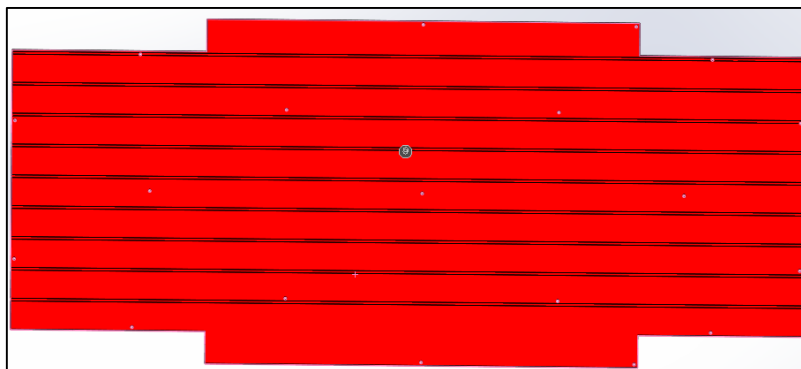


*Figura 100 –Fondo plano. Fuente: CAD fondo plano*

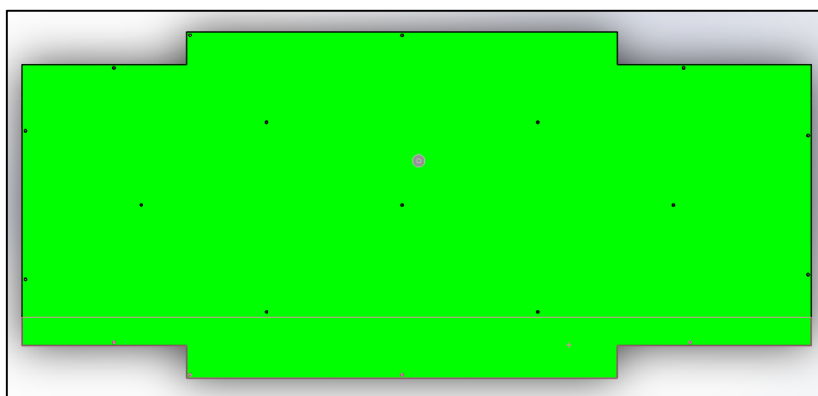
### **Análisis ángulo de desmoleo**

Es una pieza muy simple, lo cual no hay mucho problema a la hora de efectuar el desmoldeo de esta.

Por lo que se realiza el análisis del ángulo de salida obteniendo unos resultados satisfactorios.



*Figura 102- ángulos de salida negativos. Fuente: CAD fondo plano*



*Figura 101- Ángulos de salida negativos. Fuente: CAD fondo plano*

### **Fijación**

Para realizar la fijación del fondo plano y satisfacer su buen posicionamiento se anclará con la estructura metálica mediante tornillería M10X1.0 asegurando que no queden espacios vacíos donde pueda entrar flujo de aire, generando turbulencias en el interior del vehículo, ya que sería desastroso para todas las piezas montadas en el vehículo.

Es por eso que además del anclaje con la tornillería mencionada se aplique masilla de poliuretano para asegurar que es una parte estanca.



### **Análisis de tensiones**

El análisis de tensiones para esta pieza no sería necesaria, ya que el flujo fluye axialmente por debajo del vehículo, es decir, no impacta directamente contra el fondo, por lo que la tensión que recibirá no será importante.

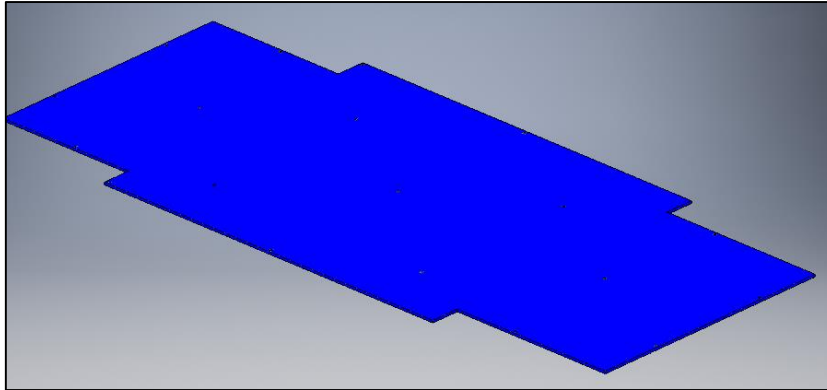


Figura 104- Análisis de tensión. Fuente: Análisis de tensión fondo plano

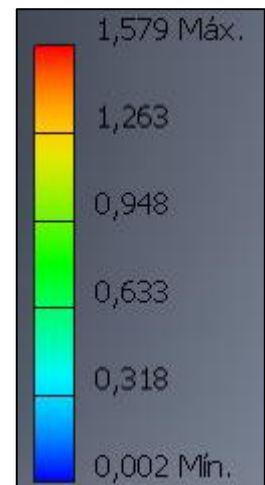


Figura 103- Leyenda de tensiones (MPa). Fuente: Análisis de tensión fondo plano

Como se puede ver en la figura 95, la tensión aplicada en el fondo plano es muy baja, debido a la razón mencionada anteriormente. Todo y que en la leyenda se encuentran valores máximos de 1.579 MPa que pertenecen a las aristas redondas de los agujeros, por lo que significa que en los anclajes reciben mayor tensión que no a lo largo de toda la pieza.

No obstante, no son valores que preocupen ya que son muy bajos.

#### *3.9.8. Estructura metálica para la fijación de elementos*

El diseño de la estructura metálica es de vital importancia para poder realizar correctamente la fijación de todos los elementos diseñados. Es por eso que se decidió incluir una estructura donde se pudieran fijar los elementos, dando una resistencia elevada a todas las piezas.

El primer paso para diseñar la estructura es fijar la altura de esta, ya que vendrá delimitada por la parte inferior de todas las piezas. Una vez se decide la altura de la estructura el siguiente paso fue el diseño estructural, había 2 ideas, una fue hacer una estructura tubular, donde se fijaran las piezas mediante la unión de chapas en la estructura, se decidió descartar la idea debido a la complejidad de montaje.



La segunda idea, y la que finalmente se ha aplicado, ha sido con pletinas de aluminio, ya que al ser plano facilita la soldadura de los perfiles tubulares en esta. También cabe la opción de hacer la estructura mediante perfil cuadrado.

Por lo tanto se obtiene la siguiente estructura.

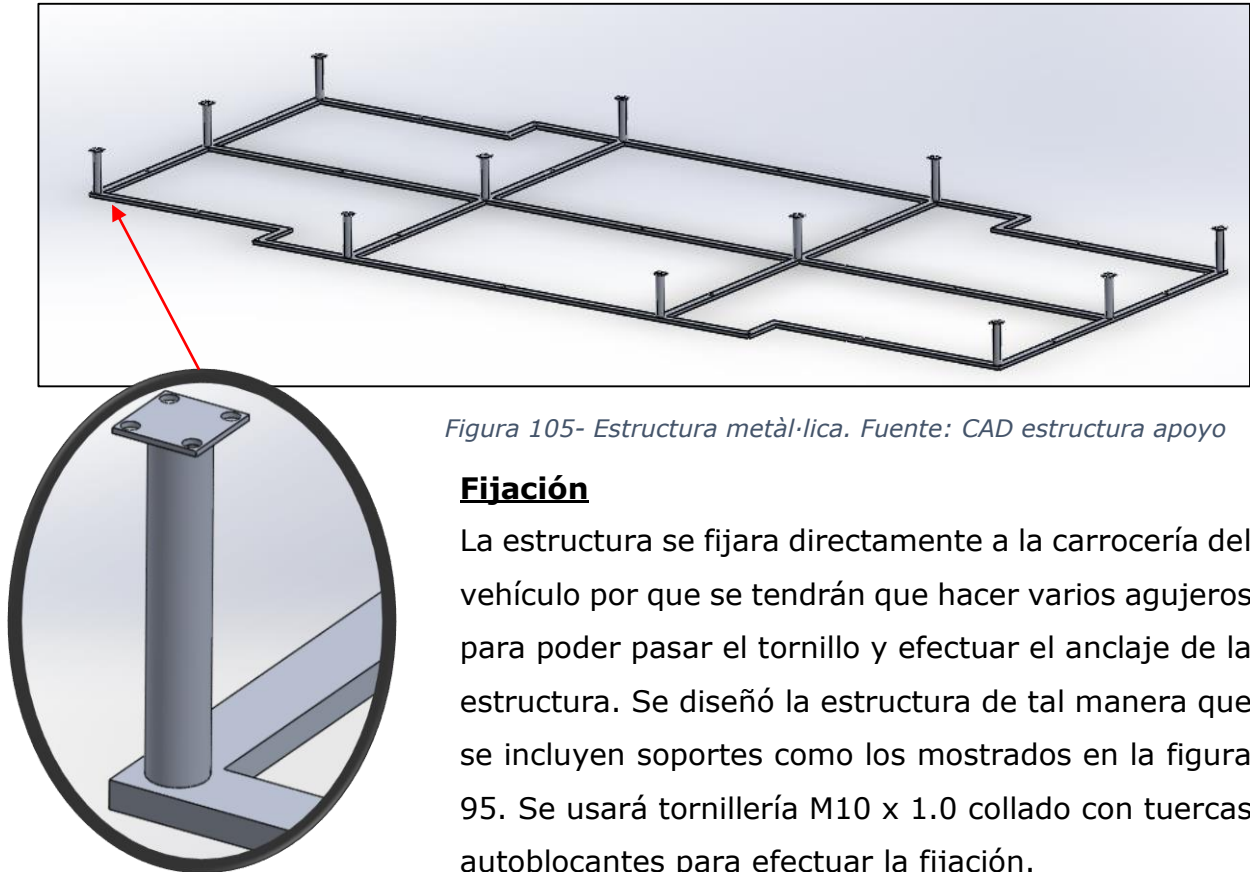


Figura 105- Estructura metálica. Fuente: CAD estructura apoyo

### **Fijación**

La estructura se fijara directamente a la carrocería del vehículo por que se tendrán que hacer varios agujeros para poder pasar el tornillo y efectuar el anclaje de la estructura. Se diseñó la estructura de tal manera que se incluyen soportes como los mostrados en la figura 95. Se usará tornillería M10 x 1.0 collado con tuercas autoblocantes para efectuar la fijación.

### **3.9.9. Difusor**

El difusor será la última pieza a diseñar, es una pieza que su diseño depende de cómo fluye el flujo de aire por debajo del vehículo. Su principal función es expandir el flujo a la salida del vehículo por lo que tendrá que permitir la expansión progresiva de este.

Por lo que diseñará de manera que satisfaga los requisitos necesarios. Por lo que hace a las aletas del difusor, se diseñaron con diferentes medidas debido a que en el centro del vehículo se encuentra el flujo de mayor velocidad por lo que será necesaria una expansión más progresiva para evitar que se produzcan turbulencias.

Por lo que se llega al siguiente diseño.

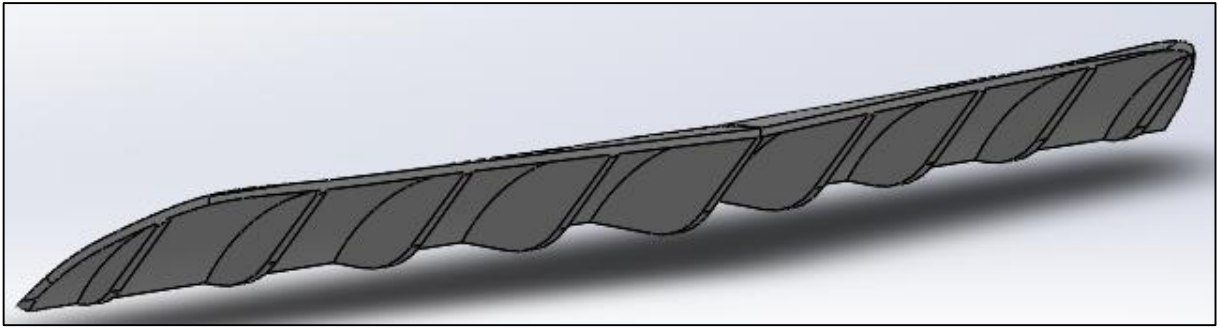


Figura 106 – Diseño difusor. Fuente: CAD difusor trasero

### **Análisis ángulo de desmoldeo**

Como se ha hecho con anterioridad con las diversas piezas diseñadas, se ha efectuado un análisis de los ángulos de salida, para verificar que satisfacen los requisitos necesarios para poder efectuar el proceso de desmoldeo.

Los resultados obtenidos con el análisis son los siguientes.

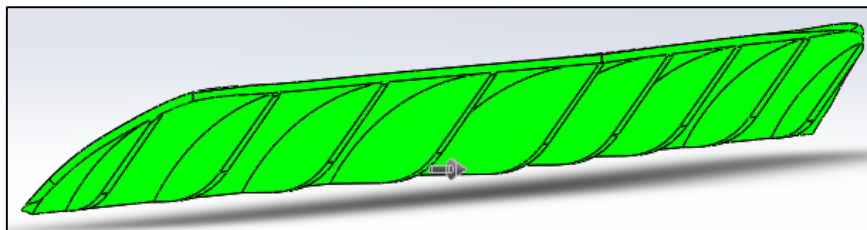


Figura 108- Ángulos de salida positivos. Fuente: CAD difusor

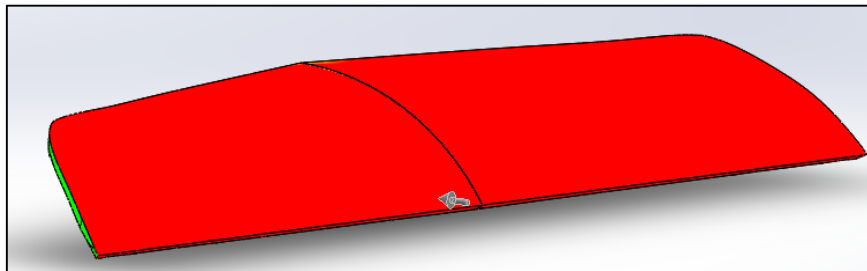


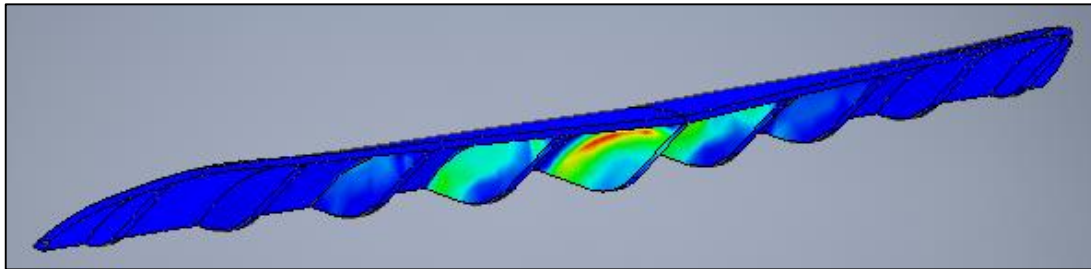
Figura 107-Ángulos de salida negativos. Fuente: CAD difusor.

### **Fijación**

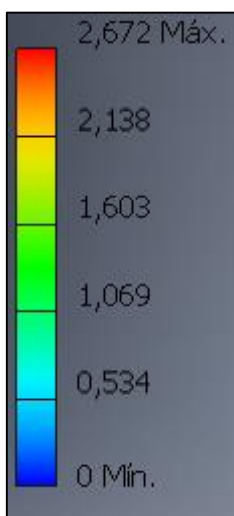
Para llevar a cabo la fijación del difusor con el parachoques trasero se hará mediante masilla de poliuretano, mencionada anteriormente, ya que deja una fijación fuerte y elástica que no se despegará con las vibraciones producidas con el vehículo en marcha.

## **Análisis de tensiones**

Una vez que se tiene el diseño y decidido la fijación de la pieza se realiza un análisis de tensiones como en los anteriores casos.



*Figura 109- Análisis de tensión. Fuente: Análisis de tensión difusor trasero*



Como bien se ha dicho anteriormente, en la parte central es donde se encuentra mayor presión, por lo que es donde recibe mayor esfuerzo. También se ve implicado el hecho de que la aleta tenga mayor superficie, ya que la presión puede efectuar mayor palanca al pasar a través de esta.

No obstante la tensión máxima que se detecta es de 2.6 MPa por lo que no es una presión crítica, todo y ser la mayor tensión que se recibe en la pieza

*Figura 110- Leyenda tensiones (Mpa). Fuente: Análisis de tensión difusor trasero*

## 3.10. Diseño de los moldes

Una vez diseñadas todas las piezas y decidido los materiales con los cuales se mecanizaran los moldes, se procede al diseño de estos para cada una de las piezas.

El proceso para llevar a cabo el diseño de los moldes fue muy similar para todos ellos, así que se explicará el proceso que se siguió.

Primero de todo, una vez diseñadas las piezas, cumpliendo los respectivos ángulos de desmoldeo, se puede usar la herramienta de SolidWorks dedicada al diseño de moldes, donde primero se creará una línea de partición, separando la parte cuyos ángulos de salida son negativos de los positivos. Cuando se obtiene la línea de partición, el siguiente paso es emparchar las superficies desconectadas, que son, por ejemplo, agujeros en las piezas diseñadas.

A continuación, se diseñan las superficies de separación, que se formará a partir de la línea de partición para que el software sepa por donde se debe partir el molde.

El inconveniente de esta herramienta, es cuando la pieza tiene una geometría complicada, como son las piezas diseñadas en este proyecto, por lo que la solución escogida fue diseñar la parte positiva y negativa a partir de la pieza diseñada, obteniendo así ambas partes del molde.

Se debe asegurar que, cuando los moldes están en contacto, es decir, cuando se inicia el proceso de inyección de plástico, sea totalmente estanco, ya que si no lo es imposibilitaría el proceso de inyección.

### 3.10.1. Enumeración de los moldes diseñados

Como bien se ha dicho con anterioridad, el proceso de diseño de los moldes fue muy similar para todos ellos, por lo que a continuación se adjuntará una tabla con las referencias mostrando donde se pueden encontrar y consultar los distintos moldes.

MOLDES	RUTA O REFERENCIA
Parachoques delantero	ANEXO II PÁGINA 8
Parachoques trasero	ANEXO II PÁGINA 9
Guardabarros delantero	ANEXO II PÁGINA 11


Guardabarros trasero	ANEXO II PÁGINA 12
Faldón lateral	ANEXO II PÁGINA 13
Fondo plano	ANEXO II PÁGINA 14
Alerón	ANEXO II PÁGINA 14

*Tabla 10 – Referencias diseños moldes*

# **CAPÍTULO 4: PRESUPUESTOS**

En este capítulo se conocerá el estudio económico del proyecto, el cual se hará a partir de los presupuestos dados, para conocer la cantidad de kits que se deberían vender para que el proyecto sea viable.

## 4.1. Presupuesto moldes


QUOTE

**X-motor Europe Services S.L.**  
Can Xiu II  
Llambilles, GI 17243  
Phone: +34 972 017 017 Fax: +34 972 98 29 38  
purchase@x-motor.eu www.x-motor.eu

QUOTE NO. [70]  
DATE April 20, 2016  
CUSTOMER ID [ABC12345]  
EXPIRATION DATE 30 days

TO Daniel Martin Morillo

PROJECT ID	PROJECT CLASS	PROJECT TITLE	DUE DATE
		Engine update for production	

QUANTITY	DESCRIPTION	UNIT PRICE	LINE TOTAL
1,00	Molde parachoques delantero (EN AW 7122 T6)	19.000,00 €	19.000,00 €
1,00	Molde parachoques trasero (EN AW 7122 T6)	21.000,00 €	21.000,00 €
2,00	Molde guardabarros delantero (EN AW 7122 T6)	7.000,00 €	14.000,00 €
2,00	Molde guardabarros trasero (EN AW 7122 T6)	3.000,00 €	6.000,00 €
1,00	Molde faldón lateral (EN AW 7122 T6)	2.500,00 €	2.500,00 €
1,00	Molde fondo plano (EN AW 7122 T6)	10.000,00 €	10.000,00 €
1,00	Molde alerón (EN AW 7122 T6)	2.500,00 €	2.500,00 €
1,00	Molde difusor (EN AW 7122 T6)	3.250,00 €	3.250,00 €
		<b>TOTAL</b>	<b>78.250,00 €</b>

Quotation approved by Josep Serra (Xiu) \_\_\_\_\_

On date: \_\_\_\_\_

This is a quotation on the goods named, subject to the conditions noted below:


1. - This quotation is valid since expiration date.
2. - The signature for both sides of this quotation will be considered as the official order.
3. - Taxes not included.
4. - Payment conditions:

30% downpayment when placing the official order.  
40 % payment before rapid prototype supply.  
30 % payment upon job completion.
5. - Payment by bank account transfer, at invoice date.
6. - Travelling and accomodation expenses, transport fees and any other item not specified in this quotation will be invoiced separately.
7. - If the customers wants to cancel the order, all expenses up to the cancelling date will be invoiced. Order cancellation should be submitted to X-motor Europe Services S.L. by written document at least 15 days prior to cancellation date.
8. - Any material delivered to X-motor Europe Services SL will be treated as confidential, according X-motor Europe Services SL confidentiality procedures.
9. - The customer is who validate for the production the prototype under his typical endurance procedure.
10. - Any change or improvement from original quoted project will need a new quotation.
11. - Rapid prototyping, prototypes or any other cost will be invoiced separately.

To accept this quotation, sign here and return: \_\_\_\_\_

**Confidential agreement**  
**THANK YOU FOR YOUR BUSINESS!**

## 4.2. Presupuesto piezas


QUOTE

**X-motor Europe Services S.L.**  
 Can Xiu II  
 Llambilles, GI 17243  
 Phone: +34 972 017 017 Fax: +34 972 98 29 38  
 purchase@x-motor.eu www.x-motor.eu

QUOTE NO. [70]  
 DATE April 20, 2016  
 CUSTOMER ID [ABC12345]  
 EXPIRATION DATE 30 days

TO Daniel Martin Morillo

PROJECT ID	PROJECT CLASS	PROJECT TITLE	DUE DATE
		Engine update for production	

QUANTITY	DESCRIPTION	UNIT PRICE	LINE TOTAL
1,00	Parachoques delantero (Polipropileno)	200,00 €	200,00 €
1,00	Parachoques trasero (Polipropileno)	200,00 €	200,00 €
2,00	Guardabarros delantero (Polipropileno)	170,00 €	340,00 €
2,00	Guardabarros trasero (Polipropileno)	90,00 €	180,00 €
1,00	Faldón lateral (Polipropileno)	125,00 €	125,00 €
1,00	Fondo plano (Polipropileno)	210,00 €	210,00 €
1,00	Alerón (Polipropileno)	110,00 €	110,00 €
1,00	Difusor (Polipropileno)	150,00 €	150,00 €
1,00	Casquillería y soportes varios (ST-52)	100,00 €	100,00 €
1,00	Estructura de apoyo (AL 6061 T6)	150,00 €	150,00 €
<b>TOTAL</b>			<b>1.765,00 €</b>

Quotation approved by Josep Serra (Xiu) \_\_\_\_\_

On date: \_\_\_\_\_

This is a quotation on the goods named, subject to the conditions noted below:

1. - This quotation is valid since expiration date.
2. - The signature for both sides of this quotation will be considered as the official order.
3. - Taxes not included.
4. - Payment conditions:
  - 30% downpayment when placing the official order.
  - 40 % payment before rapid prototype supply.
  - 30 % payment upon job completion.
5. - Payment by bank account transfer, at invoice date.
6. - Travelling and accomodation expenses, transport fees and any other item not specified in this quotation will be invoiced separately.
7. - If the customers wants to cancel the order, all expenses up to the cancelling date will be invoiced. Order cancellation should be submitted to X-motor Europe Services S.L. by written document at least 15 days prior to cancellation date.
8. - Any material delivered to X-motor Europe Services SL will be treated as confidential, according X-motor Europe Services SL confidentiality procedures.
9. - The customer is who validate for the production the prototype under his typical endurance procedure.
10. - Any change or improvement from original quoted project will need a new quotation.
11. - Rapid prototyping, prototypes or any other cost will be invoiced separately.

**Confidential agreement**

**THANK YOU FOR YOUR BUSINESS!**



## 4.3. Presupuesto costes de ingeniería

<b>PRESUPUESTO</b>											
<b>Daniel Martin Morillo</b> Ingeniero Mecánico Av. Comte Guifré, 4 17500 Ripoll Girona (España) 77922242J	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>Empresa destinataria</b>            Dirección            Población            Provincia (País)         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <b>FECHA PRESUPUESTO:</b> 20/04/2016  <b>VALIDESA:</b> 30 DÍAS         </div>										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th style="width: 55%;">Descripción</th> <th style="width: 15%;">Unidades</th> <th style="width: 15%;">Precio</th> <th style="width: 15%;">Importe (€)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Salario Base</td> <td style="text-align: center;">400</td> <td style="text-align: center;">18</td> <td style="text-align: right;">7.200,00 €</td> </tr> </tbody> </table>				Descripción	Unidades	Precio	Importe (€)	Salario Base	400	18	7.200,00 €
Descripción	Unidades	Precio	Importe (€)								
Salario Base	400	18	7.200,00 €								
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: right;"><b>BASE IMPONIBLE</b></td> <td style="text-align: right;"><b>% IVA</b></td> <td style="text-align: right;"><b>IMPORTE IVA</b></td> <td style="text-align: right;"><b>TOTAL</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">7.200,00</td> <td style="text-align: right;">21,00</td> <td style="text-align: right;">1.512,00</td> <td style="text-align: right;">8.712,00 €</td> </tr> </table>				<b>BASE IMPONIBLE</b>	<b>% IVA</b>	<b>IMPORTE IVA</b>	<b>TOTAL</b>	7.200,00	21,00	1.512,00	8.712,00 €
<b>BASE IMPONIBLE</b>	<b>% IVA</b>	<b>IMPORTE IVA</b>	<b>TOTAL</b>								
7.200,00	21,00	1.512,00	8.712,00 €								
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>Forma de pago:</b> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%; border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p>Nombre, apellidos y firma de la persona que confecciona el presupuesto</p>    <p style="text-align: center;">Daniel Martin Morillo</p> </div> <div style="width: 48%; border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p><b>ACEPTO EL PRESUPUESTO.</b> Nombre, apellidos y firma del cliente</p>     </div> </div>											

## 4.4. Estudio económico

Presupuesto <b>Moldes</b>	78.250,00€
Presupuesto <b>Piezas</b>	1.765,00€
Presupuesto <b>Costes de ingeniería</b>	8.712,00€
<b>TOTAL</b>	<b>88.727,00€</b>

Conociendo el total de gastos producidos a partir de la elaboración de los moldes y las piezas, conjuntamente con la labor de ingeniería, se hace una estimación relativa de la cuantía de kits que deben venderse para que el proyecto sea viable.

Dentro de los distintos presupuestos realizados, se pueden distinguir de dos tipos. Por un lado está el presupuesto de los moldes y los costes de ingeniería, los cuales solo se deben pagar una sola vez y, por otro lado, el presupuesto de las piezas, el cual se deberá pagar cada vez que se venda un kit para mejorar la aerodinámica del vehículo.

<b>PAGO ÚNICO</b>		<b>PAGO CONTINUO EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA DE KIT</b>	
Moldes	78.250,00€	Piezas	1.765,00€
Costes de ingeniería	8.712,00€		
<b>TOTAL</b>	<b>86.962,00€</b>	<b>TOTAL</b>	<b>1.765,00€</b>

A partir de esta breve síntesis de los gastos producidos, se debe tener en cuenta que, sabiendo que el precio de los kits será de 3.000,00€, el beneficio, partiendo del presupuesto de las piezas, será de 1.235,00€. No obstante, este beneficio servirá para amortizar los gastos de los moldes y los costes de ingeniería. Por este motivo, para poder cubrir todos los gastos del proyecto, deberán venderse un total de 71 kits.

# **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES**

A lo largo del proyecto se han realizado varios diseños y análisis.

Primero de todo y como objetivo principal del proyecto se realizaron diseños del vehículo entero para poder analizar y realizar un estudio aerodinámico, donde se determinaron las partes donde se podría mejorar la aerodinámica, ya que los coeficientes obtenidos eran mejorables. A continuación se fue mejorando la aerodinámica del vehículo según los puntos detectados en el modelo de serie. Se vio que, con procesos tan fáciles como rebajar la altura del vehículo se podía mejorar notablemente los coeficientes de arrastre y sustentación. Una vez estudiados todos los puntos mejorables se obtuvieron unos porcentajes bastante elevados de mejora y unas simulaciones donde se puede observar que el fluido viaja de una manera más controlada por lo que se elimina una gran parte de las turbulencias provocadas anteriormente en el vehículo de serie, por lo que el estudio se puede evaluar con un resultado satisfactorio.

Así que el siguiente paso fue hacer posible la fabricación de las piezas y dar una parte estética que también pudiera atraer al consumidor. Fue una parte con ciertas dificultades debido a las complejas geometrías de las piezas. No obstante, se consiguieron desarrollar las piezas de manera que fuera posible el proceso de fabricación, mediante inyección de polipropileno copolímero, ya que se descartaron los materiales "composites" debido a la normativa europea.

Además también se realizaron varios análisis de tensiones, a partir de las presiones obtenidas en las simulaciones de fluidos, para asegurar y verificar que las piezas serán fijadas correctamente y comprobar que los espesores elegidos eran los idóneos.

Haciendo referencia breve estudio económico que se realizó se puede ver que sin pagar un precio excesivo, se puede obtener una notable mejora aerodinámica en el vehículo, la cual ayudará a mejorar el rendimiento de este. Además que, por parte de la empresa, se recupera, relativamente rápido, la inversión, ya que con la venta de 71 kits el proyecto es viable.

Teniendo en cuenta que la gran mayoría de los usuarios que hoy en día disponen de un Volkswagen Golf MK1 aplican mejoras en estos, el proyecto realizado puede ser un factor enriquecedor y motivador para ellos, ya que se ha demostrado una evidente mejora aerodinámica a través de los estudios y cambios realizados.

Finalmente, a nivel personal, el proyecto me ha resultado motivador ya que partía de mis inquietudes y ganas de adquirir nuevos conocimientos referentes al mundo de la automoción.

Me gustaría hacer explícito que mis conocimientos intuitivos en el momento de empezar el proyecto eran limitados, por lo que surgieron varias dificultades relacionadas tanto con los software utilizados como con ciertos conocimientos aerodinámicos que desconocía. Sin embargo, fue un incentivo para motivarme a investigar sobre los temas mencionados, obteniendo, poco a poco, resultados satisfactorios y enriquecedores.

# **CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA**

- BRUZOS, Tomás y BRUZOS, David (2016). *Efecto Vénturi*. Sabelotodo. Recuperado el 08/01/2016 a: <http://www.sabelotodo.org/fluidos/efectoventuri.html>
- ANÓNIMO. *Porqué vuela un avión. La sustentación, p.4*. Curso Básico de Aeromodelismo. Asociación de Pilotos U-Control Argentinos (A.P.U.C.A). Recuperado el 08/01/2016 a: [http://www.apuca.com.ar/Curso\\_Pagina\\_Presentacion.htm](http://www.apuca.com.ar/Curso_Pagina_Presentacion.htm)
- GLEZ, Luís. *Fundamentos de aerodinámica*. Cruz de San Andrés. Recuperado el 10/01/2016 a: <http://www.cruzdesanandres.com/material/esadocs/general/Aerodinamica.pdf>
- RODRÍGUEZ, Carlos (2014). *Estudio de la aerodinámica de un vehículo*. Norplan Engineering. Recuperado el 10/01/2016 a: [http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog\\_entrada.php?entrada\\_id=89](http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89)
- HALL, Nancy (2015). *Closed Return Wind Tunnel*. NASA. Recuperado el 22/01/2016 a: <https://www.grc.nasa.gov/www/K-12/airplane/tuncret.html>
- HALL, Nancy (2015). *Open Return Wind Tunnel*. NASA. Recuperado el 22/01/2016 a: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/tunoret.html>
- FARRARONS, Roger (2010). *Aerodinámica. Túneles de Viento*. F1 al día. Recuperado el 22/01/2016 a: <http://www.f1aldia.com/10650/tuneles-de-viento-i/>
- SHERMAN, Don (2014). *How a Wind Tunnel Works*. Hearst Communications. Recuperado el 22/01/2016 a: <http://blog.caranddriver.com/how-a-wind-tunnel-works/>
- DUMITRACHE, Alina (2010). *Automotive Wind Tunnels – Making Aerodynamic Cars*. Autoevolution. Recuperado el 22/01/2016 a: <http://www.autoevolution.com/news/automotive-wind-tunnels-making-aerodynamic-cars-23250.html>
- ANÓNIMO (2011). *Aerodynamics thread*. Club GTI. Recuperado el 04/02/2016 a: <http://www.clubgti.com/showthread.php?245691-Aerodynamics-thread>
- ÁNGEL, Miguel. *Principios básicos. Manual vuelo*. Recuperado el 11/02/2016 a: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV18.html>
- ALONSO, Luís (1997). *El aluminio gana terreno en la fabricación de moldes*. Interempresas. Recuperado el 25/03/2016 a:

<http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/5505-El-aluminio-gana-terreno-en-la-fabricacion-de-moldes.html>

- Chus (2003). *Aerodinámica*. Foro coches. Recuperado el 11/02/2016 a: <http://www.forocoches.com/foro/showthread.php?t=4455&highlight=aerodinamica>
- ANÓNIMO. *Polipropileno*. VampTech – Ibérica. Recuperado el 18/03/2016 a: <http://www.vamptech-iberica.com/pp.php>
- ANÓNIMO (2016). Hoja técnica. Gleich Aluminium. Recuperado el 25/03/2016 a: <http://gleich.de/es/productos/placas-de-aluminio-laminadas/placas-laminadas-para-moldes/certal-spc#sheet>
- ANÓNIMO. *Splitter and air dam*. Formula 1 Dictionary. Recuperado el 05/02/2016 a: <http://www.formula1-dictionary.net/splitter.html>
- ANÓNIMO (2015). El difusor: un elemento aerodinámico vital. Motor. Recuperado el 05/02/2016 a: <http://www.motor.es/formula-1/el-difusor-un-elemento-aerodinamico-vital-201520754.html>
- MCBEATH, Simon. *Aerodinámica del automóvil de competición*. Pág.66 – 80. Descargado [en línea].
- ANÓNIMO. *Aerodinámica exterior*. Master en Automoción. Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid. Descargado [en línea].
- Equipo EMHART. *Sistemas de remachado*. Expertos en sistemas de fijación. Recuperado el 25/03/2016 a: [http://www.emhartmedia.com/upload\\_img/POP\\_ES.pdf](http://www.emhartmedia.com/upload_img/POP_ES.pdf)
- Equipo EMHART. Expertise in Fastening Solutions. Recuperado el 25/03/2016 a: <http://www.emhart.eu/eu-en/index.php>
- ANÓNIMO. Errores Comunes en Diseños de Estructuras Soldadas de Aluminio. Duero Soldadura. Recuperado el 30/03/2016 a: <http://www.duerosoldadura.es/tema11.php>

## NORMATIVA

- RODRÍGUEZ, Hermenegildo (2016). Clasificación de las categorías y tipos de vehículos. Tutorial N°61. Ingemecánica. Recuperado el 03/03/2016 a: <http://ingemecanica.com/tutoriales/CategoriasdeVehiculos.html>
- EUR – Lex. *Sistema de homologación CE de los vehículos de motor*. Última actualización: 04/01/2016. Access to European Union Law. Recuperado el 03/03/2016 a: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=URISERV%3An26100>



- **Directiva 2007/46/CE.** *Homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos.* Parlamento Europeo y del Consejo. Recuperado el 03/03/2016 a: [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2007.263.01.0001.01.SPA](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2007.263.01.0001.01.SPA)
- **Manual de Reformas de vehículos.** Gencat. Recuperado el 03/03/2016 a: [https://www.gencat.cat/itv/manual\\_reformes.pdf](https://www.gencat.cat/itv/manual_reformes.pdf)
- Consultadas, en línea, las siguientes **Directivas**, *extraídas del Manual de Reformas de vehículos*:
  - **Directiva 70/221/CEE.** Dispositivos de protección trasera.
  - **Directiva 74/483/CEE.** Salientes exteriores.
  - **Directiva 78/549/CEE.** Guardabarros.
  - **Directiva 92/21/CEE.** Masas y dimensiones (automóviles).
  - **Directiva 96/79/CE.** Colisión frontal.
  - **Directiva 2003/102/CE.** Protección de peatones.



Escola Universitària d'Enginyeria  
Tècnica Industrial de Barcelona  
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

## Anexos

TRABAJO DE FINAL DE GRADO



Barcelona, 26 de Abril de 2016

Tutor proyecto: Rubén Arroyo González  
Departamento de Ingeniería Mecánica (EM)  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

## ÍNDICE ANEXOS

**Anexo I: Tablas extracción de resultados de las simulaciones ..... 2**

**Anexo II: Fotografías de los distintos moldes diseñados ..... 7**

# **ANEXO I: TABLAS EXTRACCIÓN DE RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES**

**SIMULACIÓN DE FLUIDOS VEHÍCULO DE SERIE A 50 KM/H****MK1.SLDPRT [50 [Predeterminado]]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Force 1	[N]	104,7548259	104,6714013	104,3863528	104,8878053	10,9	Yes	0,147179746	0,01614246
GG Force (X) 1	[N]	98,48425579	98,46620631	98,21032995	98,68116581	19,9	Yes	0,073978422	0,014794151
GG Force (Y) 1	[N]	35,69222255	35,49879185	35,28297434	35,81758936	10,4	Yes	0,243157041	0,025443554
GG Force (Z) 1	[N]	-0,700117456	-0,571561471	-0,700117456	-0,456555841	32,1	Yes	0,047321735	0,01523191
GG Min Static Pressure 1	[Pa]	101174,2309	101174,3663	101174,0251	101174,587	6,8	Yes	0,269437372	0,018480908
GG Av Static Pressure 1	[Pa]	101325,2273	101325,2326	101325,2261	101325,2376	23,7	Yes	0,004264653	0,001013252
GG Max Static Pressure 1	[Pa]	101643,8395	101643,8066	101643,6109	101644,017	35,8	Yes	0,063408323	0,022727966
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	101174,2309	101174,3663	101174,0251	101174,587	6,8	Yes	0,269437372	0,018480908
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	101431,8821	101431,881	101431,8661	101431,9008	21	Yes	0,009709351	0,00204688
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	101662,0299	101662,2119	101661,3905	101663,308	44,9	Yes	0,13986081	0,062871679
GG Min Mach Number 1	[ ]	0	0	0	0	100	Yes	0	0
GG Av Mach Number 1	[ ]	0,037869678	0,037868829	0,03786423	0,037874205	19,8	Yes	2,41557E-06	4,79941E-07
GG Max Mach Number 1	[ ]	0,053446803	0,053424882	0,053317539	0,053506553	32,5	Yes	1,77768E-05	5,78871E-06

Iterations: 365

Analysis interval: 28

**SIMULACIÓN DE FLUIDOS VEHÍCULO DE SERIE A 100 KM/H****MK1.SLDPRT [100 [Predeterminado]]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Static Pressure 1	[Pa]	100712,2501	100712,3004	100711,9519	100712,7329	100	Yes	0,781028728	96,31292468
GG Av Static Pressure 1	[Pa]	101325,922	101325,9294	101325,89	101325,9635	100	Yes	0,013145452	0,25438486
GG Max Static Pressure 1	[Pa]	102601,1789	102603,3071	102601,1789	102604,9467	100	Yes	3,767772318	56,13476953
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	100712,2501	100712,3004	100711,9519	100712,7329	100	Yes	0,781028728	96,31292468
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	101752,938	101752,8771	101752,8065	101752,938	100	Yes	0,096095778	0,788070447
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	102677,6356	102676,9507	102671,7804	102681,2259	100	Yes	5,0699621	68,16486364
GG Min Mach Number 1	[ ]	0	0	0	0	100	Yes	0	0
GG Av Mach Number 1	[ ]	0,075730593	0,075723127	0,075716835	0,075730593	100	Yes	1,37583E-05	0,000101286
GG Max Mach Number 1	[ ]	0,107698901	0,107674667	0,107576984	0,107762828	100	Yes	7,65778E-05	0,000808645
GG Force 1	[N]	418,7361457	419,4899665	418,6788914	420,9960793	100	Yes	2,044517632	39,47499648
GG Force (X) 1	[N]	394,2871274	394,8687061	394,2871274	395,8097616	100	Yes	1,376160145	40,19250001
GG Force (Y) 1	[N]	140,9481618	141,5678169	139,9172738	143,6545951	100	Yes	2,20754762	18,44093156
GG Force (Z) 1	[N]	-3,352097773	-2,807620768	-3,461562553	-2,140273176	100	Yes	0,29078987	0,296059863

Iterations: 137

Analysis interval: 28

**SIMULACIÓN DE FLUIDOS VEHÍCULO DE SERIE A 150 KM/H****MK1.SLDPRT [150 [Predeterminado]]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Static Pressure 1	[Pa]	99929,61192	99930,85562	99929,61192	99932,02563	100	Yes	0,561036098	205,3212376
GG Av Static Pressure 1	[Pa]	101327,1542	101327,0954	101327,0042	101327,2003	100	Yes	0,0391485	0,60254461
GG Max Static Pressure 1	[Pa]	104195,0983	104198,2832	104195,0983	104202,2712	100	Yes	7,172882587	123,7771558
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	99929,61192	99930,85562	99929,61192	99932,02563	100	Yes	0,561036098	205,3212376
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	102289,1152	102289,0202	102288,8908	102289,1374	100	Yes	0,216501053	1,82491534
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	104363,8194	104362,7715	104354,0378	104372,1518	100	Yes	8,793810882	149,7497113
GG Min Mach Number 1	[ ]	0	0	0	0	100	Yes	0	0
GG Av Mach Number 1	[ ]	0,113545888	0,113539925	0,113533463	0,113547717	100	Yes	1,42542E-05	0,000153484
GG Max Mach Number 1	[ ]	0,16188074	0,161871237	0,1617559	0,16197786	100	Yes	6,51418E-05	0,001145064
GG Force 1	[N]	941,4385432	943,8423295	941,4385432	946,6102392	100	Yes	5,171696063	84,72728285
GG Force (X) 1	[N]	887,0835929	888,0734947	887,015082	889,714089	100	Yes	2,699006963	86,90768786
GG Force (Y) 1	[N]	315,198814	319,5677294	315,0446421	323,6742448	100	Yes	5,845567565	35,40743425
GG Force (Z) 1	[N]	-6,23997741	-5,710546112	-7,230851035	-3,931522851	100	Yes	0,971572152	1,057244458

Iterations: 134

Analysis interval: 28

**SIMULACIÓN DE FLUIDOS VEHÍCULO DE SERIE A 200 KM/H****MK1.SLDPRT [200 [Predeterminado]]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Static Pressure 1	[Pa]	98854,2545	98857,30268	98854,2545	98861,77236	100	Yes	7,517862059	294,3694602
GG Av Static Pressure 1	[Pa]	101328,8185	101328,7638	101328,548	101329,1015	100	Yes	0,553436358	0,976888806
GG Max Static Pressure 1	[Pa]	106424,3031	106433,5547	106424,3031	106444,2592	100	Yes	19,95605157	166,1788866
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	98854,2545	98857,30268	98854,2545	98861,77236	100	Yes	7,517862059	294,3694602
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103042,3981	103043,4196	103042,3981	103045,2141	100	Yes	2,545100649	3,238980944
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	106726,6215	106725,6525	106706,1131	106756,5535	100	Yes	29,05921424	209,5659807
GG Min Mach Number 1	[ ]	0	0	0	0	100	Yes	0	0
GG Av Mach Number 1	[ ]	0,151327694	0,151419208	0,151327694	0,15156672	100	Yes	0,000184792	0,00020705
GG Max Mach Number 1	[ ]	0,215590386	0,215650919	0,215083515	0,215984712	100	Yes	0,000221623	0,001521922
GG Force 1	[N]	1681,713205	1695,775255	1681,713205	1710,777602	100	Yes	29,06439755	132,8243394
GG Force (X) 1	[N]	1582,399828	1590,381699	1582,399828	1601,951246	100	Yes	19,55141797	137,2547522
GG Force (Y) 1	[N]	569,2465991	588,238422	569,2465991	600,2369577	100	Yes	30,99035858	47,61390371
GG Force (Z) 1	[N]	-11,33123841	-16,32919681	-19,55940218	-11,33123841	100	Yes	1,737043686	2,00000953

Iterations: 91

Analysis interval: 28

**SIMULACIÓN DE FLUIDOS VEHÍCULO DE SERIE A 250 KM/H****MK1.SLDPRT [250 [Predeterminado]]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Static Pressure 1	[Pa]	97560,98318	97562,51142	97558,92728	97567,59384	100	Yes	7,543603155	371,9635663
GG Av Static Pressure 1	[Pa]	101330,9322	101330,8413	101330,4961	101331,0634	100	Yes	0,109168275	1,612778506
GG Max Static Pressure 1	[Pa]	109249,1764	109256,2316	109249,1764	109267,3622	100	Yes	18,18581675	179,5102932
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	97560,98318	97562,51142	97558,92728	97567,59384	100	Yes	7,543603155	371,9635663
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	104013,7766	104013,9497	104013,4968	104014,465	100	Yes	0,968217661	5,256888142
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	109684,4984	109701,3231	109681,832	109716,3377	100	Yes	34,50577204	244,3012696
GG Force 1	[N]	2612,012732	2612,603699	2610,035027	2620,22602	100	Yes	10,19099375	206,7575638
GG Force (X) 1	[N]	2461,963811	2462,102829	2458,677008	2468,618652	100	Yes	9,941643409	212,7357271
GG Force (Y) 1	[N]	872,2885758	873,7245722	868,967549	879,3366645	100	Yes	10,36911545	59,09788697
GG Force (Z) 1	[N]	-21,38560407	-18,31658116	-23,31189016	-14,03632166	100	Yes	2,761290045	3,110078066

Iterations: 119

Analysis interval: 28

**SIMULACIÓN MEJORA REBAJAR ALTURA COCHE****MK1 mejorado.SLDPRT [Project(1) [Predeterminado]]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Force (X) 1	[N]	823,3515615	833,8750098	823,3669656	850,2760642	100	Yes	19,53909856	142,4368499
GG Force (Y) 1	[N]	305,2767683	319,1867556	305,2777683	350,2859987	100	Yes	39,83923033	54,06875484
GG Force (Z) 1	[N]	-9,71100795	-10,71330149	-12,01655915	-6,728919579	100	Yes	5,021771461	5,464163021

Iterations: 62

Analysis interval: 21

**SIMULACIÓN MEJORA FONDO PLANO****MK1 mejorado.SLDPRT [Project(1) [Predeterminado]]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Force (X) 1	[N]	788,9815615	798,8750098	788,3669656	807,9060642	100	Yes	19,53909856	142,4368499
GG Force (Y) 1	[N]	251,7967683	265,1867556	249,7967683	291,6359987	100	Yes	39,83923033	54,06875484
GG Force (Z) 1	[N]	-13,58100795	-14,50330149	-18,04655915	-11,41891958	100	Yes	5,021771461	5,464163021

Iterations: 62

Analysis interval: 21

**SIMULACIÓN MEJORA PARACHOQUES DELANTERO****MK1 mejorado.SLDPRT [Project(1) [Predeterminado]]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Force (X) 1	[N]	750,2715615	760,8750098	749,9069656	780,3060642	100	Yes	19,53909856	142,4368499
GG Force (Y) 1	[N]	275,8567683	287,1867556	273,8567683	290,6359987	100	Yes	39,83923033	54,06875484
GG Force (Z) 1	[N]	-12,98100795	-13,50330149	-15,56655915	-10,42891958	100	Yes	5,021771461	5,464163021

Iterations: 62

Analysis interval: 21

**SIMULACIÓN MEJORA PARTE DE LAS RUEDAS****MK1 mejorado.SLDPRT [Project(1) [Predeterminado]]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Force (X) 1	[N]	745,2715615	755,1750098	745,1069656	780,3060642	100	Yes	19,53909856	142,4368499
GG Force (Y) 1	[N]	270,8567683	284,1867556	270,8267683	283,6559987	100	Yes	39,83923033	54,06875484
GG Force (Z) 1	[N]	-13,45100795	-14,50330149	-18,88655915	-11,56891958	100	Yes	5,021771461	5,464163021

Iterations: 62

Analysis interval: 21

**SIMULACIÓN MEJORA FALDONES LATERALES****MK1 mejorado.SLDPRT [Project(1) [Predeterminado]]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Force (X) 1	[N]	730,6515619	740,1750097	730,1069657	750,3060641	100	Yes	19,53909856	142,4368499
GG Force (Y) 1	[N]	260,3367683	274,1867556	259,8667683	273,5559986	100	Yes	39,83923033	54,06875484
GG Force (Z) 1	[N]	-12,58100795	-13,5033015	-15,89655915	-10,35891954	100	Yes	5,021771461	5,464163021

Iterations: 62

Analysis interval: 21

**SIMULACIÓN MEJORA PARACHOQUES TRASERO****MK1 mejorado.SLDPRT [Project(1) [Predeterminado]]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Force (X) 1	[N]	720,5415615	730,1750045	720,0169657	740,5560641	100	Yes	19,53909856	142,4368499
GG Force (Y) 1	[N]	230,5667686	244,1867556	229,8667684	240,1159985	100	Yes	39,83923033	54,06875484
GG Force (Z) 1	[N]	-6,551007951	-7,50330149	-8,956559155	-3,228919545	100	Yes	5,021771461	5,464163021

Iterations: 62

Analysis interval: 21

**SIMULACIÓN MEJORA ALERÓN TRASERO****MK1 mejorado.SLDPRT [Project(1) [Predeterminado]]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Force (X) 1	[N]	730.4815615	740.1750098	730.1069656	750.5460642	100	Yes	19.53909856	142.4368499
GG Force (Y) 1	[N]	190.3167683	204.1867556	189.8967683	210.5559987	100	Yes	39.83923033	54.06875484
GG Force (Z) 1	[N]	-2.81400795	-3.50330149	-5.069559152	-0.631919579	100	Yes	5.021771461	5.464163021

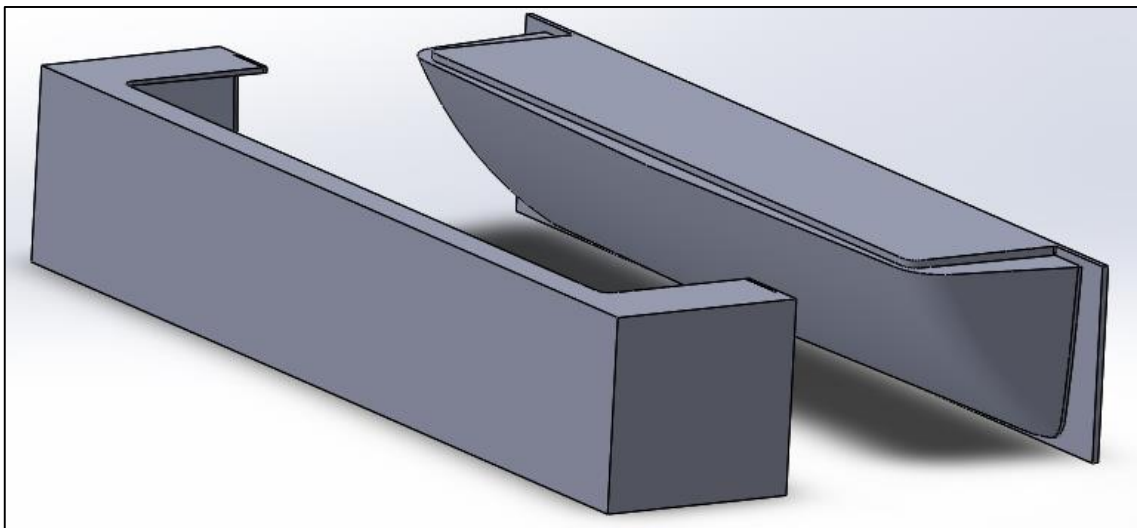
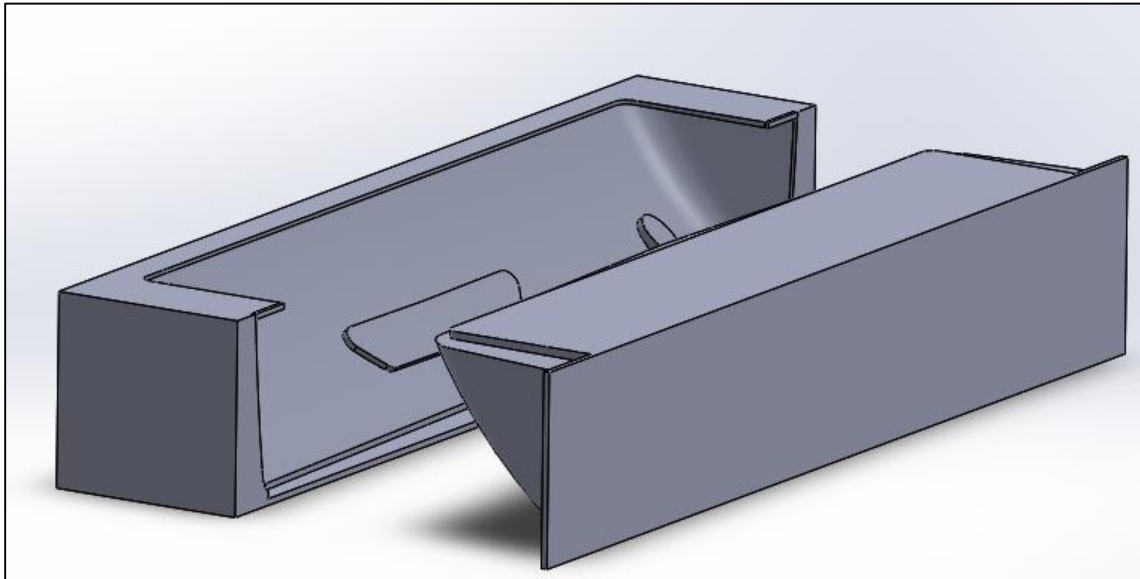
Iterations: 62

Analysis interval: 21

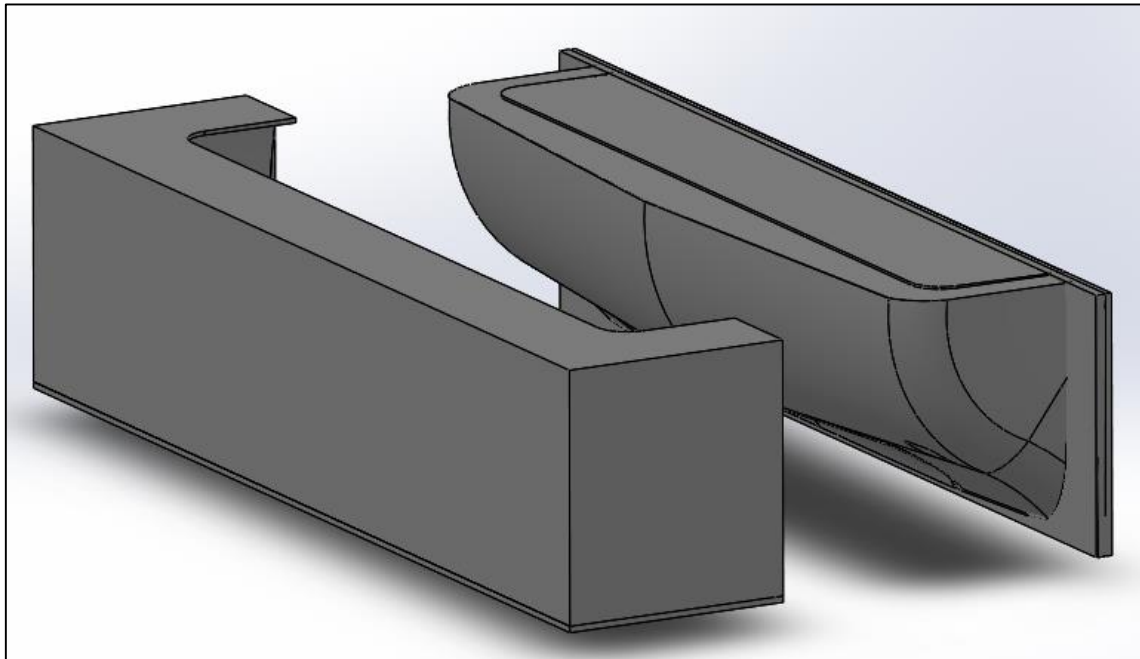
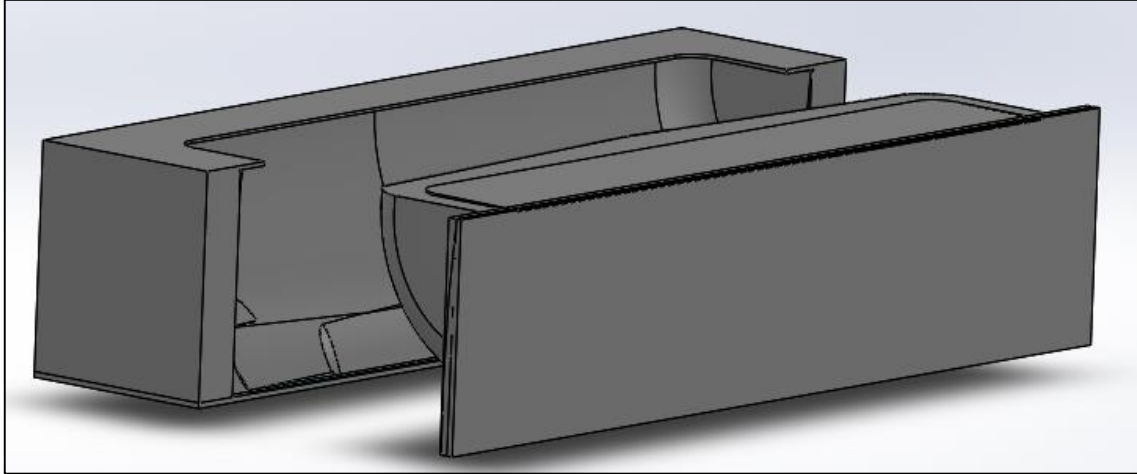


# **ANEXO II: FOTOGRAFÍAS DE LOS DISTINTOS MOLDES DISEÑADOS**

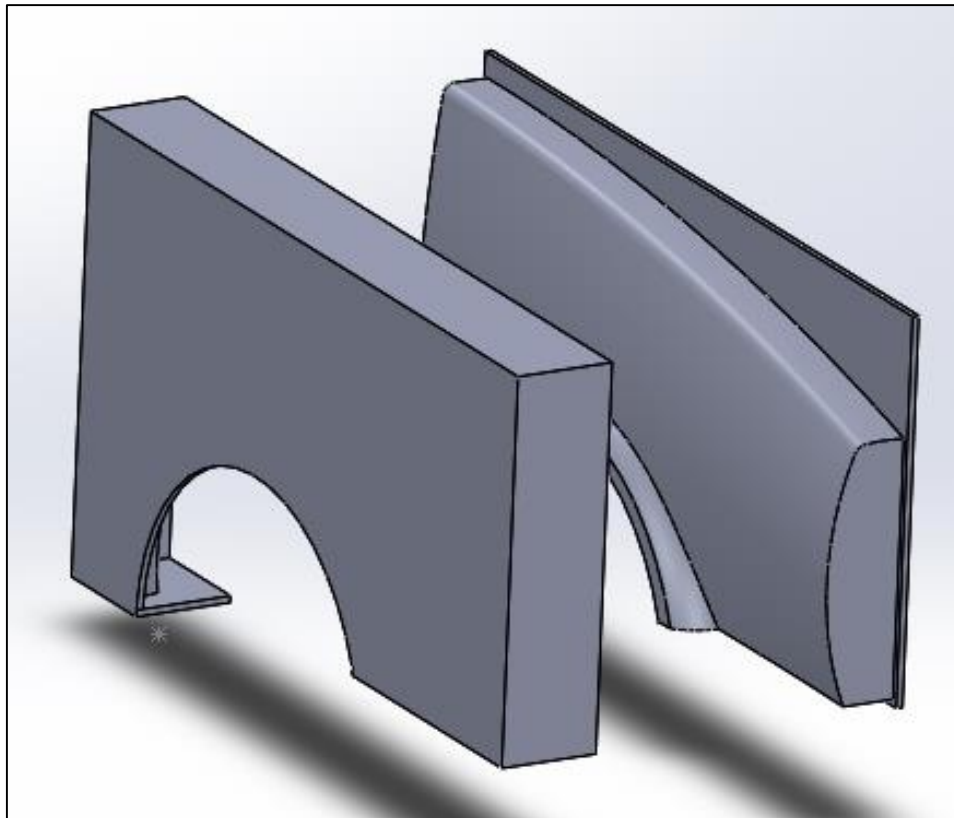
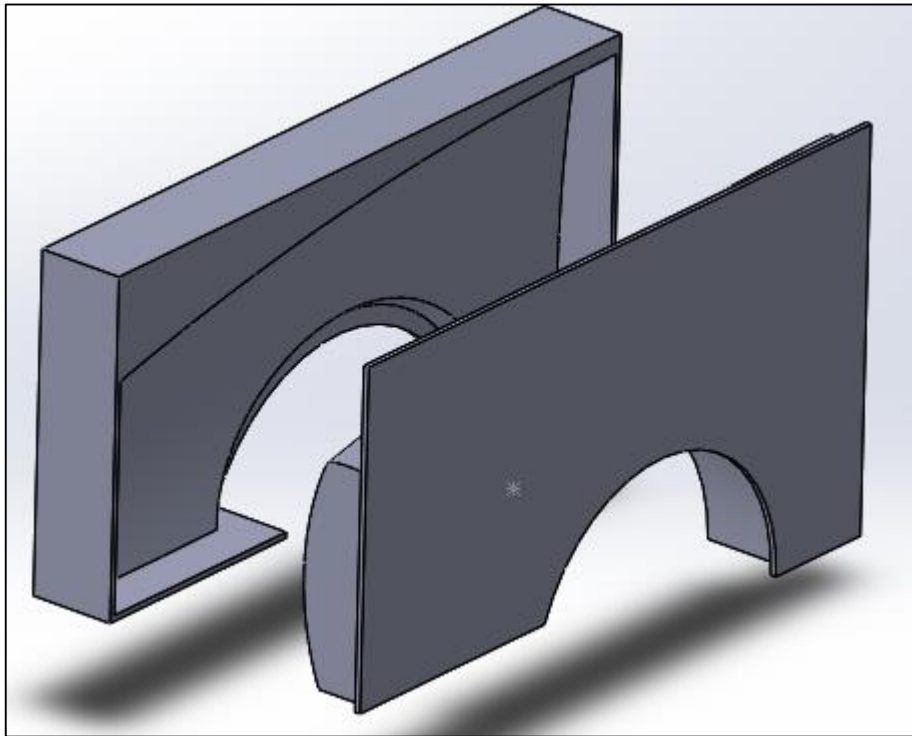
**Moldes parachoques delantero**



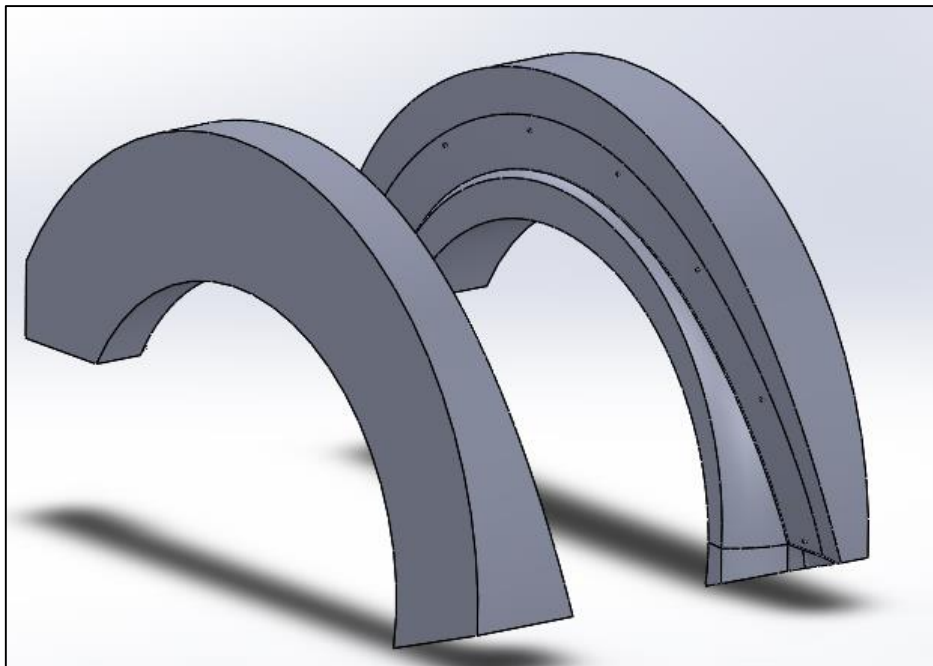
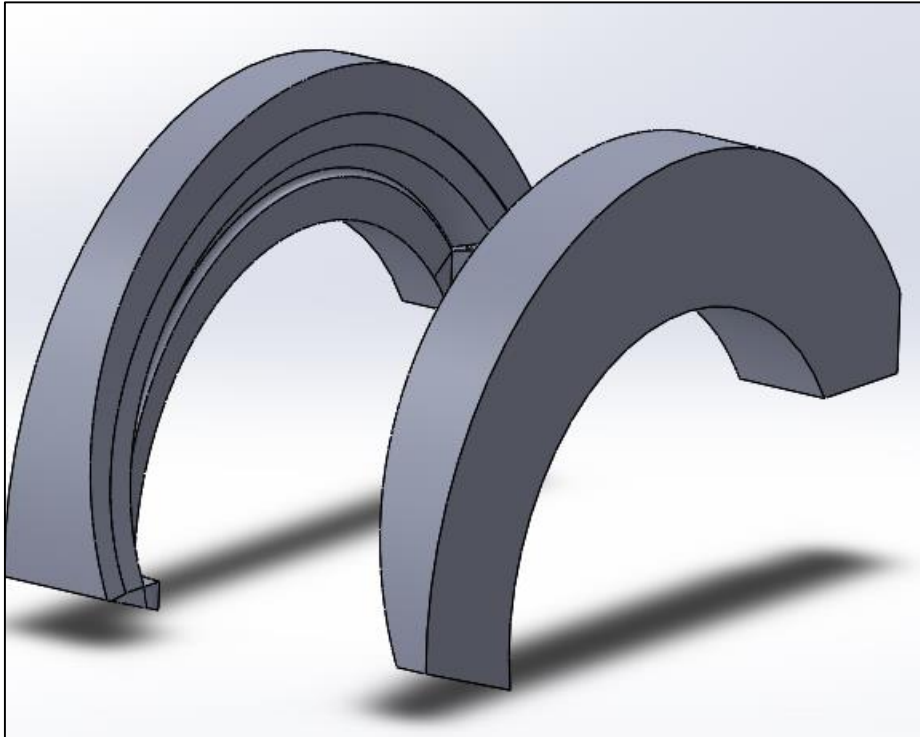
**Moldes parachoques trasero**



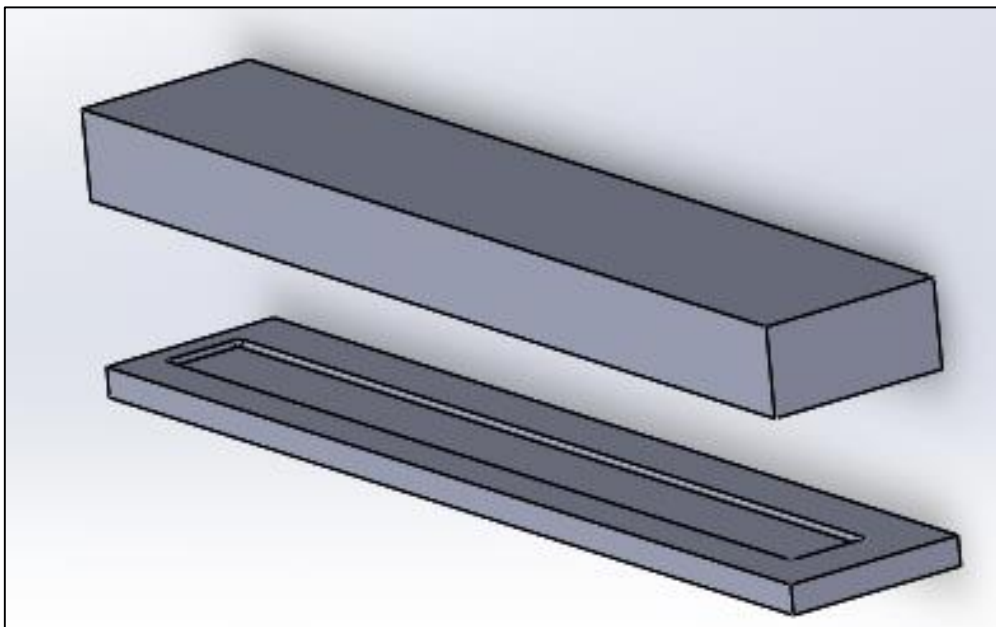
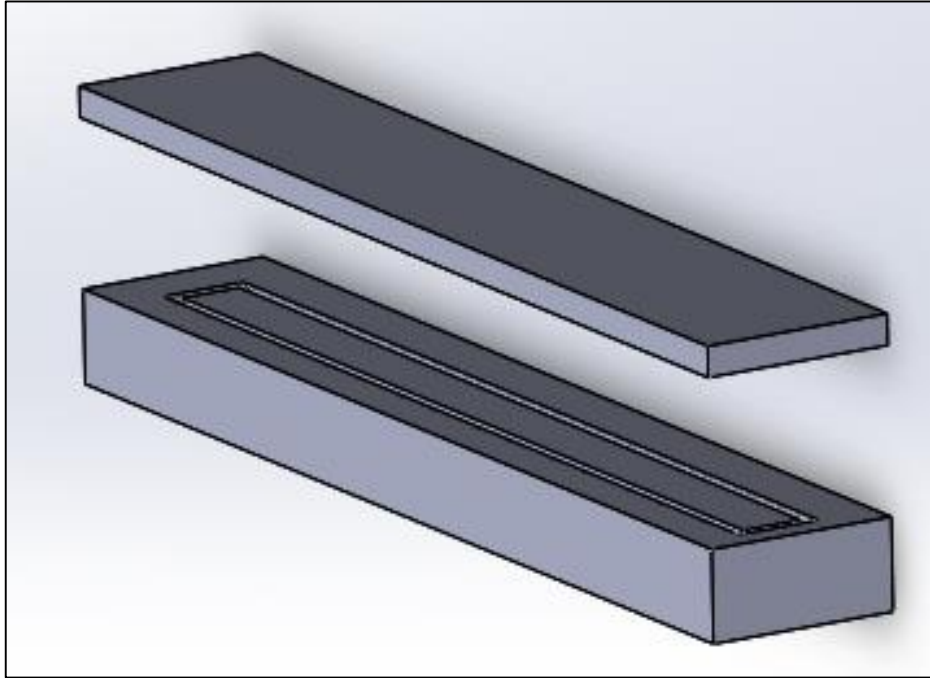
Guardabarros delantero



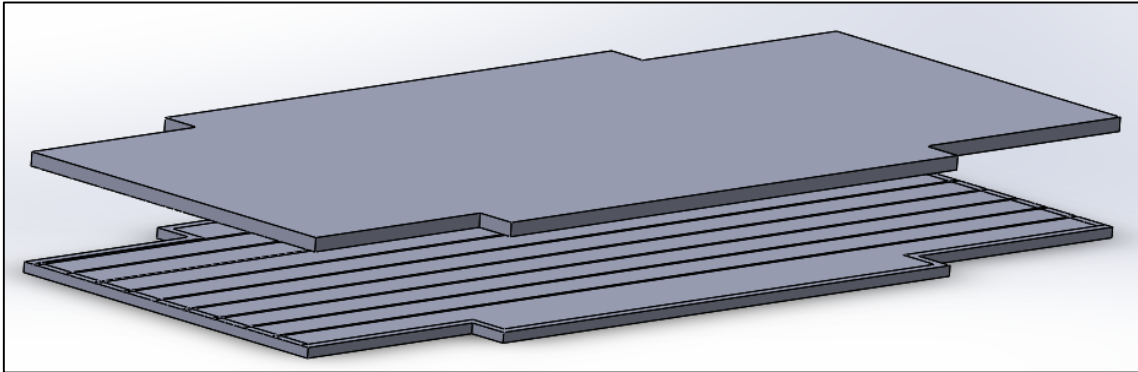
**Guardabarros trasero**



**Faldón lateral**



Fondo plano



Alerón

